

Aus dem Balneologischen Institut bei der Universität München
Medizinische und Klimatologische Abteilung

Vorstand: Professor Dr. med. H. v. Braunbehrens

Beiträge zur Frage des Wärmeübergangs im Bade

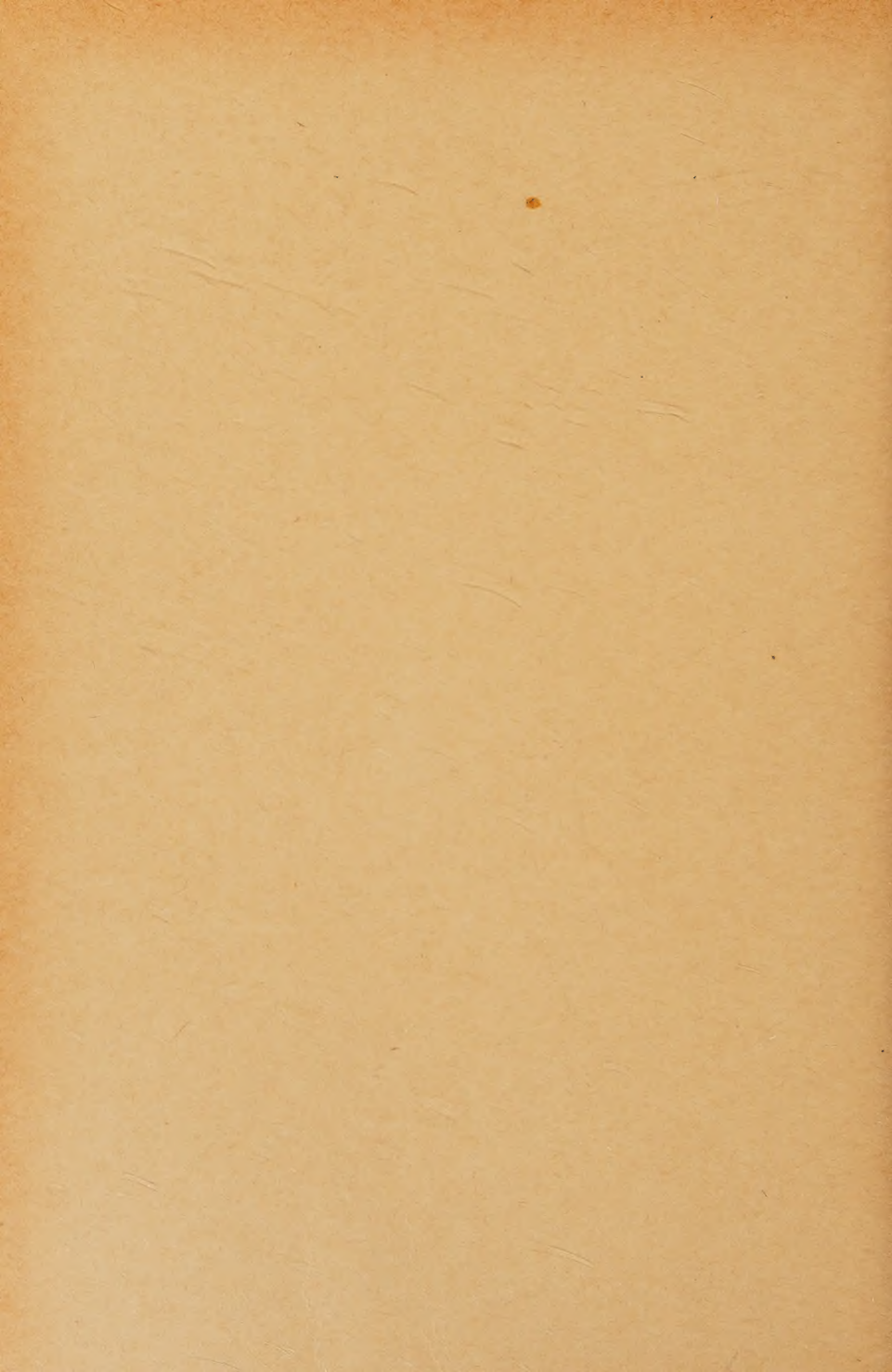
(Gewonnen mit Folien-Wärmestrom-Messern)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

WOLFHARD KAMPE
aus Weiden/Oberpfalz

München 1960



Aus dem Balneologischen Institut bei der Universität München
Medizinische und Klimatologische Abteilung
Vorstand: Professor Dr. med. H. v. Braunbehrens

Beiträge zur Frage des Wärmeübergangs im Bade.

(Gewonnen mit Folien - Wärmestrom - Messern)

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin
verfasst und einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt
von
Wolfhard Kampe
aus
Weiden/Oberpfalz

München 1960

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München

Berichterstatter: Professor Dr.med.Hans v.Braunbehrens
Dekan: Professor Dr.med.H. Schwiegk

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Juli 1960

Meiner lieben Mutter zugeeignet.



Inhaltsverzeichnis.

	Seite
A. Allgemeine Einleitung	1
B. Wärmehaushalt des Menschen	1
C. Methodik	8
1. Konstruktive Gesichtspunkte	8
2. Eichung der Folien	10
3. Versuchsablauf	10
D. Versuchsergebnisse	12
1. Rectaltemperaturen	12
2. Sublingualtemperaturen	12
3. Folientemperaturen	13
4. Ausschläge des Foliengalvanometers	15
5. Konstanz der Wärmestromdichte	15
6. Gewogenes Mittel der Wärmestrom- dichte	18
7. Mittlerer integraler Wärmestrom	19
8. Wärmedurchgangswiderstände	20
9. Moorbäder	22
10. Vergleich Moor-Wasserbad	24
E. Besprechung der Versuchsergebnisse	26
F. Zusammenfassung	41
Literaturhinweis	43
Lebenslauf	46



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A. Allgemeine Einleitung.

Der Mensch gehört zu den homiothermen Lebewesen, das bedeutet, daß er unabhängig von äußeren Temperaturschwankungen seine Innentemperatur weitgehend konstant erhalten kann. Diese " Homoiostasis ", wie es Cannon nennt, müßte sich nach kurzer Zeit ändern, wenn der menschliche Organismus nicht die Wärmemenge zu bilden vermöchte, die er nach außen verliert. Im ganzen gesehen, scheint die homiotherme Regelung nach der kalten Seite hin besser ausgebildet zu sein als nach der warmen. Störungen der Wärmebilanz werden durch eine außerordentlich feine Steuerung vermieden, die für eine stete Anpassung der Wärmeabgabe an die Wärmebildung sorgt und die Konstanz der Wärme im Körperinneren von nahezu $37,0^{\circ}\text{C}$ trotz der häufig stark wechselnden Umwelteinflüsse gewährleistet.

So interessiert zunächst die Frage, wie sich der Körper gegenüber Wärme verhält, und wie er sie transportiert. Erst wenn diese Fragen geklärt sind, hat es Sinn, zu quantitativen Untersuchungen überzugehen.

B. Wärmehaushalt des Menschen.

Um den Wärmehaushalt des Menschen besser verstehen zu können, ist es zweckmäßig, sich den ganzen Körper aus zwei Anteilen aufgebaut zu denken, und zwar aus einem Kern und einer Schale, wobei man als Kern den homiothermen Teil des Körpers definiert, als Schale den übrigen Teil, der mehr oder weniger an Schwankungen der Außentemperatur teilnimmt. Die begriffliche Unterteilung in wärmebildenden Körperkern und isolierende Körperschale geht bereits auf Bergmann (1845) zurück.

Die Wärmebildung vollzieht sich vorwiegend im Körperkern, wozu man im allgemeinen das Innere des Brust- und Bauchraumes, das Gehirn und einen Teil der Skelettmuskulatur (nach Aschoff, Brück und Hensel) rechnet. Hier werden die Nahrungsmittel (im wesentlichen handelt es sich um Eiweiß, Fette und Kohlenhydrate) verbrannt. Dabei geben sie ihre potentielle Energie frei und treffen auf das arterielle Blut, das sich in der

Lunge mit Sauerstoff beladen hat. Die chemische Spannkraft setzt der Körper in kinetische Energie um, hauptsächlich in mechanische Bewegung und in Wärme. Zu diesen Umsetzungen ist der vom arteriellen Blut zutransportierte Sauerstoff unbedingt erforderlich. Die Endprodukte des Stoffwechsels sind verhältnismäßig einfache Stoffe, vor allem Kohlensäure (CO_2) und Wasser (H_2O).

Der Verbrennungswert unserer Nahrungsmittel ist meist gut bekannt. Ein Gramm Fett z.B. bildet bei der Verbrennung im menschlichen Körper 9,4 kcal, ein Gramm Kohlenhydrate 4,2 kcal, ein Gramm Eiweiß 4,3 kcal.

Wird nun vermehrt Wärme abgegeben, so wird mehr Wärme produziert, d.h. es erfolgt eine entsprechend starke Oxydation in Muskulatur und Leber (sog. " chemische Wärmeregulation "). Dieser chemischen Wärmeregulation können wir die physikalische gegenüberstellen, bei der durch Regelung der Hautdurchblutung und Schweißabgabe die Wärmeabgabe gesteuert wird. Die Beteiligung der Lunge an dieser Abgabe darf nicht vernachlässigt werden. Im allgemeinen ist die Gesamtwärmebildung um so größer, je größer die Oberfläche des Menschen ist, so daß die Energiebildung im Verhältnis zur Körperoberfläche, also W/F ($\text{cal}/\text{cm}^2\text{min}$) für alle Größen im Mittel für gleiche Umgebungsbedingungen nahe gleich sind (nach Büttner).

Betrachten wir nun den Weg der Wärme vom Körperinneren bis zur Außenwelt! Sie gelangt teils durch Leitung im Gewebe, teils durch Konvektion mit dem Blut an die Hautoberfläche.

Den weitaus größeren Anteil der Wärmefortleitung macht der konvektive Wärmetransport des Blutes aus. Das Blut wird vorwiegend in der tätigen Skelettmuskulatur und in den inneren Organen aufgewärmt. Es fließt zum Herzen, und das vom linken Herzen ausgeworfene, warme arterielle Blut vermag bis dicht unter die Oberhaut vorzudringen. Wegen der relativ großen Querschnittssumme der Kapillaren und der daraus resultierenden geringen Strömungsgeschwindigkeit gibt das Blut durch innigen Kontakt seine Überwärme fast restlos ans Gewebe ab. Der Blutkreislauf wirkt also als universelles Wärmeaustauschsystem.

Die konduktive Wärmeleitung im Gewebe ist relativ klein. Sie besteht aber immer, solange das Körperinnere wärmer oder kälter ist als die Oberhaut. Dieser sog. "Wärmeleitungsstrom" beruht auf dem einfachen physikalischen Gesetz, daß im ruhenden Medium jedes Temperaturgefälle einen Wärmefluß erzeugt, der diesem Gefälle und der Wärmeleitzahl λ proportional ist. So kann also der Wärmetransport pro Flächeneinheit q_c ($\text{cal cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), der durch Leitung und Konvektion senkrecht durch eine Gewebsschicht von der Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$ geht, durch die Gleichung

$$q_c = \lambda' \frac{T_1 - T_2}{x}$$

wiedergegeben werden.

λ' stellt die "Scheinleitfähigkeit" des Gewebematerials dar. Büttner gebraucht diese Bezeichnung und versteht darunter, wieviel Wärme in der Zeiteinheit durch 1 cm Gewebeschicht bei 1°C Temperaturdifferenz transportiert wird. x gibt die Dicke der Schicht an, die senkrecht von der Wärme durchströmt wird.

In der blutgefäßlosen Epidermis wird die Wärme ausschließlich durch Leitung transportiert.

Die Ableitung der Wärme vom Körper an die Umgebung erfolgt auf zwei Wegen: erstens über die Atmung, zweitens von der Körperoberfläche.

Wie Thauer zeigen konnte, gibt die Lungenoberfläche nur wenig Wärme ab. Die innere Oberfläche der zuführenden Atemwege dagegen gibt beträchtliche Wärmemengen (12%) durch Leitung, Konvektion und Verdunstung ab, wobei die trockene Wärmeabgabe weniger ausmacht als die feuchte. Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur spielen dabei als Wirkungskomponenten die entscheidende Rolle.

Den weitaus größeren Anteil der Wärmeableitung übernimmt die äußere Körperoberfläche. Dabei bedient sich der Körper eines dreifachen Weges, nämlich der Strahlung, Leitung plus Strömung und schließlich der Verdunstung oder wie es Hensel formuliert, "der Wärmestrom q pro Flächeneinheit von der Kör-

peroberfläche an die Umgebung ist die Summe von Teilströmen aus Leitung plus Konvektion q_c , Strahlung q_s und Verdunstung q_v . "

$$q = q_c + q_s + q_v .$$

Die beiden ersten Anteile hängen von der Oberflächentemperatur ab, während q_v durch die Oberflächenfeuchte mitbedingt ist. Die Zusammenfassung der Komponenten Leitung und Konvektion ist berechtigt, weil der Körper von einer haftenden, ruhenden Luftschicht (Grenzschrift) umgeben ist; innerhalb dieser Schicht findet keine Konvektion statt, außerhalb derselben Leitung und Konvektion. Die Grenzschrift hat für den Körper die Bedeutung eines Isolators, da die reine Wärmeleitung der Luft eine sehr geringe ist. Die Leistung dieses Isolators hängt von der Dicke der Grenzschrift, die eine Funktion der Luftbewegung ist, und von der Leitfähigkeit der Grenzschriftluft ab.

Ganz anders sind die Bedingungen für den menschlichen Körper, wenn man statt der umgebenden Luft ein anderes Medium z.B. Wasser wählt. Zunächst besitzt das wässrige Bademedium eine hohe Wärmeleitfähigkeit. Dadurch intensiviert es die Wärmeübertragung bei auftretenden Temperaturänderungen, wodurch eine raschere Einstellung der dynamischen Gleichgewichtszustände unterstützt wird und eine gesteigerte Empfindlichkeit auf thermische Reize entsteht. Der Körper befindet sich außerdem in einem Milieu, dessen Temperatur auf der gesamten Hautoberfläche fast gleich bleibt.

Im Bade bleiben die Wärmeverluste durch die Atemwege unverändert bestehen. Diese kann man jedoch annähernd konstant halten, da Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur bei der Atmung als Wirkungsfaktoren eine entscheidende Rolle spielen und konstant gehalten werden können.

Bei der Wärmeabgabe durch die Haut fällt nur noch die Abgabe durch Leitung und Konvektion ins Gewicht, da im Wasser die Verdunstung aufgehoben ist und die Strahlung (langwellige Infrarotstrahlung) sowohl vom Wasser als auch vom Gewebe intensiv absorbiert wird. Deshalb kann sich eine gegenseitige Wirkung nur in sehr dünnen, unmittelbar aneinander angrenzenden Schichten des Körpers und des Bademediums entfalten, zwischen welchen aber im Bade äußerst geringe Temperaturdifferenzen

bestehen. Die Strahlungsbilanz wird praktisch im Gleichgewicht bleiben, so daß sich die Radiation nicht mehr als thermoregulatorischer Faktor geltend macht.

Im ganzen sind also die wärmeregulatorischen Vorgänge im Bade bedeutend vereinfacht und ihre Untersuchung stößt auf geringere Schwierigkeiten. Deswegen wurde das Wassermedium immer wieder zu kalorimetrischen Messungen benützt.

Burton und Bazett (7) untersuchten z.B. thermoregulatorische Vorgänge im Organismus mittels eines Badekalorimeters. Dabei wurden zuerst die Wärmeverluste des Bademediums im Leerbetrieb und dann mit Versuchsperson gemessen. Eine andere Methode der Badekalorimetrie, die sog. "Autokalorimetrie" gibt Ipsier (14) an. Bei dieser dient nicht das Bademedium, sondern der Körper des Patienten als Kalorimeter. Zur Untersuchung der lokalen thermischen Vorgänge, besonders auch in der Körperschale fand in letzter Zeit vor allem die Strömungskalorimetrie nach Aschoff und nach Hensel (13) Verwendung. Mit Hilfe dieser Apparate kann man den Wärmestrom je Zeit- und Flächeneinheit unter verschiedenen Temperaturbedingungen an verschiedenen Stellen der Körperoberfläche bestimmen. Auf Grund mancher Überlegungen haben Aschoff und Hensel versucht, aus der Größe der Wärmeabgabe und aus der Steilheit des Temperaturgradienten an der entsprechenden Körperstelle Rückschlüsse auf die Durchblutungsgröße zu ziehen. Als Maß dieser Größe gaben sie die Wärmedurchgangszahl an, die durch den Wärmestrom pro Zeit- und Flächeneinheit und durch die Temperaturdifferenz in $^{\circ}\text{C}$ bestimmt ist.

Bei einer Durchsicht der Literatur fällt auf, daß in die Berechnung der Wärmedurchgangszahlen außer dem ans Kalorimeter abgegebenen Wärmestrom die Differenz entweder zwischen Körperkerntemperatur und Wassertemperatur im Kalorimeter oder zwischen Gewebetemperatur in einer definierten Tiefe und Kalorimetertemperatur als bestimmende Größen eingehen. Es ist leicht verständlich, daß die aus diesen Wärmedurchgangszahlen abgeleiteten Durchblutungsgrößen recht verschieden ausfallen müssen. Das trifft sowohl für einen Wechsel der Umgebungsbedingungen als auch für verschiedene Kalorimeterumgebungen zu.

Alle diese Verfahren beschränken sich entweder

auf eine Analyse der Temperatureinflüsse der Luft oder die pharmakologische Überprüfung von durchblutungssteigernden Mitteln und deren Auswirkung auf die Hautdurchblutung. Versuche, die den Wärmedurchgang an verschiedenen Körperstellen unter Badebedingungen bestimmten, sind uns bisher nicht bekannt. Lediglich Burton und Bazett(?) stellten den integralen Wärmestrom im Bade fest.

Die bisherigen kalorimetrischen Meßmethoden im Bad erwiesen sich jedoch als unbefriedigend. Erstens kann man sie nicht ohne genügende Schutzvorrichtung in jedem beliebigen Medium verwenden, zweitens schaltet man z.B. beim Hensel'schen Strömungskalorimeter zwischen Körperoberfläche und Bademedium den Meßkopf ein und mißt dadurch nicht den direkten Wärmestrom zwischen Medium und Körper Q_M , sondern den Wärmestrom zwischen Meßkopf und Körper Q_{Kal} . Da nur unter seltenen Bedingungen $Q_{Kal} = Q_M$ ist, bzw. da nur selten diese Bedingungen experimentell exakt herzustellen sind, kann man den an das Kalorimeter abgegebenen Wärmestrom nicht dem an das umgebende Medium abgegebenen Wärmestrom gleichsetzen.

Es galt also, eine Meßmethode zu finden, die eine Wärmestrommessung im Bade ermöglicht und gleichzeitig an mehreren Körperstellen durchgeführt werden konnte.

Die Verwirklichung dieses Vorhabens schien uns mit einer nach W.L. L u s t i g und J.S. C a m m e r e r (18) abgewandelten Methode möglich zu sein.

Diese schalteten in den zu messenden Wärmestrom nur eine dünne Schicht ein, in der sich je nach ihrer Art und Dicke eine Temperaturdifferenz einstellt, die als Maß der durchgehenden Wärmemenge je Zeiteinheit dienen kann. Die Temperaturdifferenz wird in der Regel mit Thermoelementen gemessen und ihr Zusammenhang mit der Größe des Wärmestromes durch eine Eichung festgestellt. Als Material für die Hilfsschicht verwandten die beiden Autoren Kunststofffolien von 0,1 - 0,5 mm Dicke und einem Wärmedurchgangswiderstand von 0,0005 $m^2h^{\circ}C/kcal$. Dieser Folien-Wärmestrom-Messer ist eine Weiterentwicklung des " Wärmeflußmessers " nach E. Schmidt, der im allgemeinen Gummischichten von 5 - 8 mm Dicke und 0,025 $m^2h^{\circ}C/kcal$ Wärmedurchlaßwiderstand ver-

wandte. Vor Schmidt hatte schon K. Hencky 1919 ebenfalls eine sog. "Hilfswandmethode" angegeben, wobei die Hilfsschicht noch aus 2 - 3 cm dicken Korkplatten bestand.

Diese Entwicklung des Folien-Wärmestrom-Messers zeigt an, daß alles darauf ankommt, die Dicke der Hilfsschicht so klein wie möglich zu halten, um das umgebende Medium möglichst unbeeinflußt auf die Körperoberfläche wirken zu lassen.

So gelang es am Institut, die Schichtdicke der ganzen Meßfolie bis auf 100μ zu verringern, einen Wärmedurchgangswiderstand für die ganze Folie - Hilfsschicht plus Deckschichten - von $29 \text{ (cm}^2\text{.sec.}^\circ\text{C/cal)}$ zu erreichen und somit die Methode weitgehendst zu verbessern.

Vergleicht man den Wärmedurchgangswiderstand unserer Meßfolie von $29 \text{ (cm}^2\text{.sec.}^\circ\text{C/cal)}$, so würde er dem Widerstand von ca. 230μ schlechtdurchbluteter Haut oder dem Widerstand von ca. 400μ Wasser entsprechen. Das Verhältnis des Widerstandes der Folie zu dem von uns gemessenen inneren Widerstand bei $36,2^\circ\text{C}$ Badetemperatur beträgt nur 1,7%, zum äußeren 3,2%. Der Widerstand der Folie ist demnach sehr gering und kann vernachlässigt werden.

Die Aufgabe bestand nun darin, mit diesen Folien quantitative Messungen in wässrigen und breiigen Bademedien durchzuführen.

C. Methodik.

1. Konstruktive Gesichtspunkte.

Die Wärmestrommessungen wurden mit Hilfe von Wärmestromfolienmessern ausgeführt. Abb.1a zeigt eine solche Meßfolie in der Flächenansicht, Abb.1b im Querschnitt.

Mit Hilfe dieser Folien konnten ausgeführt werden:

a. Wärmestrommessungen

Zu diesem Zwecke war auf beide Seiten einer Hostaphanfolie von $40\ \mu$ Dicke ein abschnittsweise verkupfertes Konstantanbändchendergestalt aufgenäht, daß sich jeweils die Kupferteile und die Konstantanteile und somit auch die Lötstellen gegenüberlagern (Abb.1b). Dabei war die Anordnung des verkupferten Konstantanbandes so gewählt, daß die Zuführungen Konstantanteile, die Spitzen der sternförmigen Bandanordnung Kupferteile darstellten (Abb.1a).

Die Registrierung der Wärmestromdichte erfolgte über ein Spiegelgalvanometer mit Nachlaufschreiber.

b. Temperaturmessungen

Die Registrierung der Oberflächentemperaturen erfolgte mit Hilfe eines Thermoelementes, das an einem elektrischen Thermometer " Thermorapid " der Fa. Elektromedizinische Werkstätten GmbH, Hamburg angeschlossen war. Dieses Thermoelement, das eine Konstantan-Manganinverbindung ist, war in die Mitte der Folie so eingeklebt, daß es unter die dem Körper zugewandte Deckfolie zu liegen kam (Abb.1a).

Beiderseits der Meßfläche war eine Deckfolie von jeweils $10\ \mu$ Dicke aufgelegt und das ganze mit einem Spezialkleber für Hostaphanfolien, einem sog. " Lösungsmittelkleber " verklebt. Die äußeren Ränder der Meßfolien waren thermisch geschweißt und die Zuführungen mit Araldit, einem Kunstharzlack, ausgegossen.

Die gesamte Schichtdicke der Folie betrug ca. $100\ \mu$, ihr Wärmedurchgangswiderstand $29\ (\text{cm}^2\text{s}^\circ\text{C}/\text{cal})$.

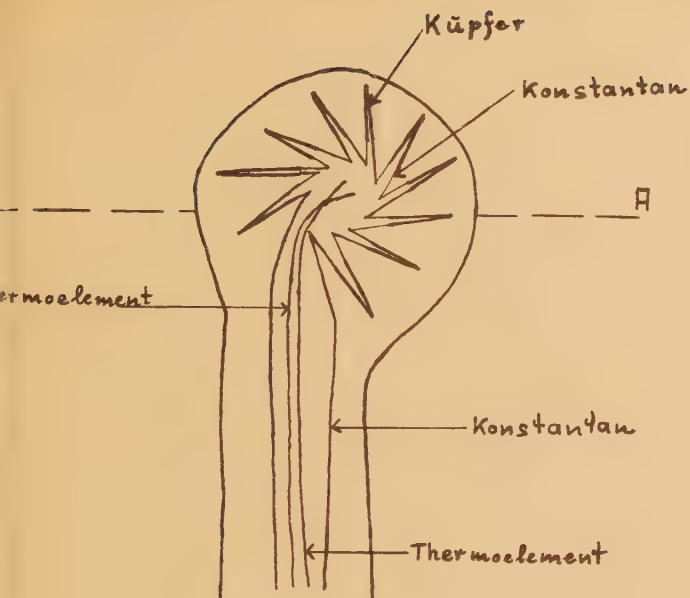


Abb. 1a: Wärmestromfolienmesser in der Flächenansicht

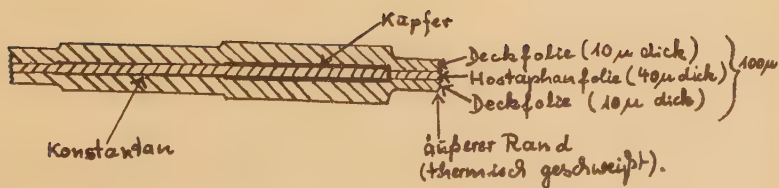


Abb. 1b: Wärmestromfolienmesser im Querschnitt

2. Eichung der Folien.

Die Beziehungen zwischen Galvanometeraussschlag und Höhe des Wärmestromes pro Zeit- und Flächeneinheit wurden durch mehrere Eichungen ermittelt und während der Versuche mehrmals auf ihre Gültigkeit überprüft.

Der Bau und die Eichung der Meßfolien wurden hier nur in ihren wichtigsten Grundzügen dargestellt. Alle Einzelheiten können der Dissertationsarbeit von A l t entnommen werden, die sich z.Zt. in Bearbeitung befindet.

3. Versuchsablauf.

a) Versuchsraum

Die Versuche wurden in einem vollklimatisierten Raum von 28°C Temperatur und einer relativen Feuchte von 50 - 60% durchgeführt.

b) Versuchspersonen

Zu den Messungen wurden jeweils vier gesunde Versuchspersonen (davon 3 männliche und 1 weibliche) im Alter von 20 - 25 Jahren herangezogen. Ihre charakteristischen Daten können Tabelle 1 entnommen werden.

Tab.1: Charakteristische Daten der Versuchspersonen.

Versuchs- person	Geschlecht	Alter Jahre	Größe m.	Gewicht kg.	Körperoberfläche m ² .
VPI(Ba)	männl.	25	1.80	72	1.90
VPII(Schm.)	männl.	24	1.72	68	1.80
VPIII(Li.)	weibl.	23	1.60	62,5	1.65
VPIV(Si.)	männl.	24	1.78	57	1.73
VP V(Schu.)	männl.	25	1.82	75	1.95

c) Bäderarten

An diesen Versuchspersonen führten wir folgende Arten von Bädern aus:

1. Wasservollbäder von 30°, 34°, 36°, 38° und 40°C, die eine durchschnittliche Dauer von 15 Minuten hatten. Bei diesen Wasserbädern wurden keinerlei Badezusätze verwandt. Je Wannenbad wurden ungefähr 250 l Wasser verwendet.

2. Moorbreibäder von einem Temperaturdurchschnitt von 37° - 40° und einer Dauer von ca 34 Minuten. Die Moorerde stammte aus dem Aiblinger Gebiet und wurde zu diesen Versuchen freundlicherweise vom Besitzer des Moorbades Wetterstein zur Verfügung gestellt. Die Bereitung und Erwärmung des Moorbades erfolgten durch Zuleitung von heißem Wasser und Wasserdampf.
3. Moorarmbäder, wobei der rechte Unterarm in einer Armbadewanne mit Moor von $40,5^{\circ}\text{C}$ und der linke Unterarm vergleichsweise in eine Wanne mit Wasser von gleicher Temperatur getaucht wurden.

d) Meßstellen

Als Meßinstrumente dienten 7 Meßfolien, die auf bereits erwähnte Art gebaut und geeicht waren. Sie wurden auf verschiedene Körperstellen wie folgt verteilt:

Folie 1 Fußsohle

Folie 2 Oberschenkel (Beugeseite)

Folie 3 Handteller

Folie 4 Oberarm (im Bereich des musculus deltoides)

Folie 5 Brust (über dem musculus pectoralis maior)

Folie 6 Gesicht (über dem musculus buccinatorius)

Folie 7 Bauch (in Höhe des musculus abdominis externus)

Als bestes Klebemittel erwies sich der unter dem Handelsnamen " Uhu " bekannte Alleskleber, der sich auch wieder leicht mit Hilfe von Tetrachlorkohlenstoff entfernen ließ.

e) Sublingual - und Rectaltemperaturen

Die Bestimmung der Sublingualtemperaturen erfolgte mit einem Quecksilberfieberthermometer, die der Rectaltemperaturen mit Hilfe eines thermoelektrischen Rectalfühlers, welcher zu diesem Zweck konstruiert ist. Er wurde an einem elektrischen Thermometer " Thermorapid " der Fa. Elektromedizinische Werkstätten GmbH, Hamburg angeschlossen.

Der Ablauf der Versuche ging so vonstatten, daß die nur mit einer Badehose bzw. zweiteiligen Badeanzug bekleideten Versuchspersonen zunächst etwa $3/4$ Stunde völlig ruhig lagen. Nach dieser Zeit wurden die ersten Messungen unter Raumtemperatur von 28°C und einer relativen Feuchte von 50 - 60% durchgeführt. Die Raumtemperatur wurde deshalb so gewählt, weil bei dieser Temperatur noch keine ausgeprägte Auskühlung der Versuchsperson und auch kein Kältezittern eintrat. Anschließend wurden die Versuchspersonen ohne Lageänderung mit Hilfe einer hydraulischen Vorrichtung zur Messung in das jeweilige Bademedium eingetaucht.

D. Versuchsergebnisse.

1. Rectaltemperaturen

Die Rectaltemperaturen vor dem Bad, die mit Hilfe eines Thermofühlers bei konstanter Raumtemperatur von 28°C um die Mittagszeit gemessen wurden, zeigten folgende Werte:

VPI (Ba.)	VPII (Schm.)	VPIII (Li.)	VP IV (Si.)
$36,8^{\circ}$	$36,9^{\circ}$	$37,3^{\circ}$	$36,8^{\circ}$
$36,6^{\circ}$	$37,1^{\circ}$	$37,0^{\circ}$	$36,6^{\circ}$
$37,1^{\circ}$	$36,5^{\circ}$	$36,9^{\circ}$	$36,4^{\circ}$
$37,1^{\circ}$	$37,2^{\circ}$	$37,5^{\circ}$	$36,4^{\circ}$
MW. $36,9^{\circ}$	$36,9^{\circ}$	$37,3^{\circ}$	MW. $36,6^{\circ}$
	MW. $36,9^{\circ}$	MW. $36,9^{\circ}$	

Ihre Einzelwerte lagen zwischen $36,4^{\circ}$ und $37,5^{\circ}\text{C}$.

Die gemessene Streubreite betrug bei:

VP I $0,5^{\circ}$; VP II $0,7^{\circ}$; VP III $0,6^{\circ}$; VP IV $0,4^{\circ}$.

Der Tab.3 können die Einzelwerte der Rectaltemperaturen in Wasserbädern von verschiedener Temperatur nach 15 Minuten Badezeit entnommen werden. Auch hier wurden wiederum die Mittelwerte sowohl der Badetemperaturen als auch der Rectaltemperaturen gebildet und diese der besseren Übersicht halber in ein Koordinatensystem eingetragen, wie es Abb.2 zeigt.

Bei einer mittleren Wassertemperatur von $30,2^{\circ}\text{C}$ ergibt sich eine mittlere Rectaltemperatur von $37,0^{\circ}\text{C}$. Denselben rectalen Mittelwert zeigt auch ein Wasserbad von $34,3^{\circ}\text{C}$. Beträgt die Badetemperatur im Mittel $36,0^{\circ}\text{C}$, so ist die Rectaltemperatur $36,9^{\circ}\text{C}$, bei $37,0^{\circ}\text{C}$ ebenfalls $37,0^{\circ}\text{C}$, und bei $40,0^{\circ}\text{C}$ Wassertemperatur verzeichneten wir einen Rectaltemperaturwert von $37,9^{\circ}\text{C}$. Der Verlauf der mittleren Rectaltemperaturkurve ist zunächst waagerecht, steigt dann bei einer Wassertemperatur von $37,0^{\circ}\text{C}$ an, so daß bei $40,0^{\circ}\text{C}$ Wassertemperatur ein Wert von $37,9^{\circ}\text{C}$ Rectaltemperatur erreicht wird (nach 10 - 17 Min. Badezeit).

2. Sublingualtemperaturen

Die Sublingualtemperaturen, die unter konstanter Raumtemperatur

Tabelle 3: Einzel- und Mittelwerte der Bade-, Rectal- und Süblingualtemperaturen nach 15 Minuten Badezeit.

Wassertemperatur	Rectaltemperatur	Süblingualtemperatur
30°	36,9°	36,1°
30,2°	37,0°	36,3°
30,5°	37,2°	36,5°
MW: 30,2°	MW: 37,0°	MW: 36,3°
34,8°	36,9°	36,6°
34,5°	37,0°	36,7°
34,7°	37,2°	36,6°
MW: 34,3°	MW: 37,0°	MW: 36,6°
35,5°	36,8°	36,5°
36,5°	37,0°	36,3°
36,0°	36,9°	36,4°
MW: 36,0°	MW: 36,9°	MW: 36,4°
38,4°	36,7°	37,2°
38,3°	37,0°	37,0°
38,2°	37,3°	36,6°
37,9°	37,4°	36,9°
MW: 38,2°	MW: 37,3°	MW: 36,9°
40,0°	37,5°	36,9°
40,0°	36,9°	36,9°
39,9°	37,8°	38,7°
MW: 40,0°	MW: 37,9°	MW: 37,5°

Tabelle 4:

Folientemperaturen in Grad C bei einer konstanten Raumtemperatur von 28°C.

Badtemp.	F ₁ (Fuß)	F ₂ (0-Schenkel)	F ₃ (Hand)	F ₄ (0-Arm)	F ₅ (Brüst)	F ₆ (Gesicht)	F ₇ (Bauch)
30,0°	34,0	33,5	35,1	34,2	35,1	35,5	34,0
	34,6	35,2	36,0	35,4	34,1	35,5	34,0
	32,2	34,1	35,5	33,6	35,0	35,6	33,3
	33,3	33,8	35,7	34,1	35,1	35,2	33,9
34,0°	35,4	34,8	36,2	34,5	35,5	35,8	35,4
	30,6	32,7	34,6	32,9	34,6	35,4	33,8
	33,3	34,2	34,3	34,4	34,9	35,0	33,8
36,0°	35,1	33,6	35,7	32,8	34,1	35,0	34,2
	32,1	33,9	32,8	33,7	35,2	35,6	33,3
	35,5	34,7		31,9	33,6	36,2	33,6
38,0°	34,8	33,4	35,5	34,0	33,5	35,6	33,6
	35,7	34,6	34,6	33,5	33,7	37,1	33,3
	35,5	35,5	30,5	32,5	35,5	33,6	33,7
	35,6	34,4	34,6	32,7	35,2	34,8	33,4
40,0°	34,9	35,2	35,6	33,9	33,9	35,2	33,4
	32,3	35,2	35,7	33,1	34,9	35,4	34,7
	31,5	33,6	35,6	32,9	34,9	35,1	33,4

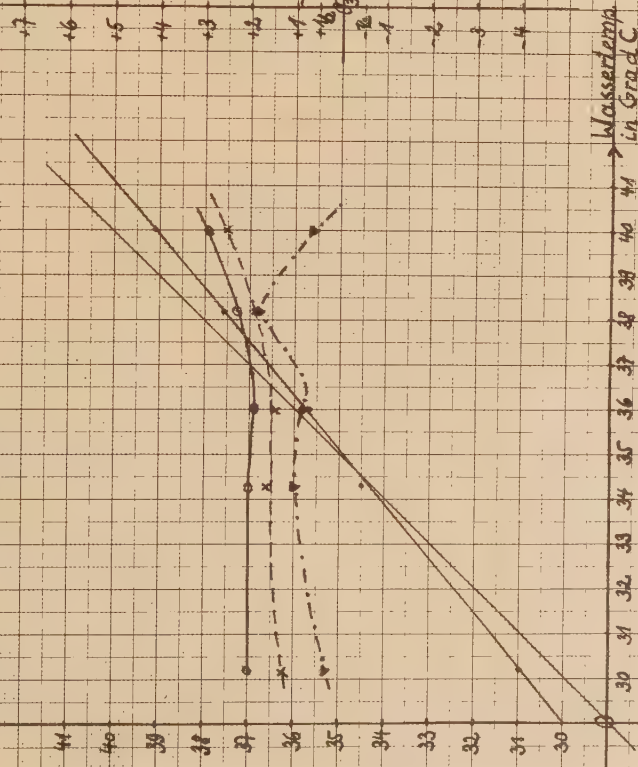
Durchschnittstemperaturen an den einzelnen Körperstellen.

34,0° 34,0° 34,8° 34,4° 35,3° 33,8°

Mittlere integrale Folientemperatur: 34,482°.

Abbildung 2

Differenz
mündliche Folientemp.
Wasser temp.



- 12.6 -

Wassertemp.

Wassertemp.
in Grad C

- o Rectaltemp.
- Folientemp. (1-7 außer 6)
- x Sublingualtemp.
- Folientemp. 7 (Gesicht)

von 28°C vor dem Bad ermittelt wurden, waren wie folgt:

VP I (Balk)	VP II (Schmidt)	VP III (Litten)	VP IV (Sigl)
36,2°	36,4°	36,7°	36,7°
36,6°	36,9°	36,9°	36,9°
36,6°	36,5°	36,8°	36,2°
36,9°	36,0°	36,8°	36,2°
<u>MW.36,6°</u>	<u>36,9°</u>	<u>36,8°</u>	<u>MW.36,5°</u>
	MW.36,6°	MW.36,8°	

Die gemessenen Werte streuten für VP I um 0,7°, für VP II um 0,9°, für VP III um 0,3° und für VP IV um 0,5°. Ihre Mittelwerte lagen zwischen 36,5° und 36,8°C, also 0,1° - 0,3° unter den Mittelwerten der Rectaltemperatur bei konstanter Raumtemperatur.

Tab.3 gibt die Einzel - und Mittelwerte der Sublingualtemperaturen in Wasserbädern von verschiedener Temperatur nach 15 Min. Badezeit an. Im Koordinatennetz ergeben die mittleren Sublingualtemperaturen in Abhängigkeit der mittleren Wassertemperaturen eine Kurve, wie sie Abb.2 darstellt. Entnehmen wir diesem Diagramm einzelne Werte:

Bei 30,2°C Badetemperatur haben wir nach 15 Minuten Badedauer eine mittlere Sublingualtemperatur von 36,3°, bei 36,3° - 36,5°, bei 38,2° - 36,9° und bei 40° Badetemperatur sogar sublingual 37,5°C. Die Kurve der Sublingualtemperatur liegt bei 30,2°C noch 0,7°, bei 36,0° 0,4° und bei 38,3°C Wassertemperatur nur noch 0,3° unter der Kurve der Rectaltemperaturen. Daraus sieht man, daß die Sublingualtemperaturkurve stärker ansteigt und sich mit zunehmender Badetemperatur der Rectaltemperaturkurve nähert.

3. Folientemperaturen

Die Temperaturen, die die Folien an den verschiedenen Körperstellen unter konstanter Raumtemperatur von 28°C anzeigten, sind in ihren Einzelwerten in Tab.4 zusammengestellt. Aus diesen Werten ist ersichtlich, daß die Ausgangslage der Oberflächentemperatur für die einzelnen Versuchspersonen differiert, d.h. daß jede Versuchsperson mit anderen Wärmeverhältnissen an der Körperoberfläche dem neuen wärmeren oder kühleren Bademedium ausgesetzt wurde. Um die Durchschnittstemperaturen an den

einzelnen Körperstellen zu erhalten, mußten wir die gefundenen Einzelwerte addieren und durch die jeweilige Zahl der Messungen dividieren. Bei diesen Ergebnissen ist besonders die Temperatur des Gesichtes auffällig, die mit $35,3^{\circ}\text{C}$ um fast 1° höher liegt als die des übrigen Körpers.

Die " mittlere integrale Folientemperatur " unter konstanten Temperaturverhältnissen des Raumes von 28°C beträgt $34,482^{\circ}\text{C}$. Zu ihrer Berechnung wurden zunächst die Mittelwerte der einzelnen Folien bestimmt, diese Ergebnisse mit den von Büttner (6) angegebenen Flächenprozenten multipliziert und ihre Summe durch 100 dividiert, da der gesamte Körper mit 100% Fläche angenommen wird.

Die Verteilung der Flächenprocente auf die einzelnen Körperstellen wurde in Anlehnung an Büttner (6) folgendermaßen gewählt:

Fuß	14%
Oberschenkel	23%
Hand	7%
Oberarm	10%
Brust	18%
Gesicht	12%
Bauch	16%
Sa.	100%

Die Folientemperaturen im Wasserbade sind für die jeweilige Badetemperatur über den gesamten Körper mit Ausnahme des Gesichtes, das nicht dem Bademedium ausgesetzt war, zusammengefaßt und durch die Anzahl der Einzelmessungen dividiert worden. Einzel - und Mittelwerte sind in Tab.5 zusammengestellt. In einem Koordinatensystem ergeben die Mittelwerte eine lineare Kurve, wenn man sie in Abhängigkeit der Wassertemperatur darstellt (Abb.2). Der Neigungswinkel dieser Geraden ist kleiner als 45° , d.h. bei tieferen Temperaturen liegt die Folientemperatur höher, bei höheren tiefer als die Wassertemperatur. Der Schnittpunkt mit der 45° -Linie ist bei $34,5^{\circ}\text{C}$, d.h. die Folientemperatur ist hier gleich der Wassertemperatur.

Noch deutlicher wird die Beziehung mittlere Folien-

Tabelle 5. Mittlere Temperaturen der Folien 1-7 m. Ausnahme
von Folie 6 (Gesicht) im Wasserbade von 30°-40°C.

30°C	34,0°C	36,8°C	38°C	40,0°C
30,2	33,7	36,0	37,6	37,1
30,6	35,4	35,7	37,9	39,4
31,5	35,4	35,8	37,5	39,0
30,5	35,1	36,0	37,7	38,6
31,4	35,3	35,6	37,5	38,9
30,9	31,7	36,0	36,8	38,8
30,2	33,4	35,9	37,0	38,9
31,7	34,4	36,1	37,9	38,8
31,8	34,6	35,9	37,7	38,9
31,4	34,0	36,1	37,4	38,8
31,0	34,5	36,0	37,6	39,6
30,6	35,0	35,2	37,9	41,3
30,6	35,3	36,1	37,8	39,6
31,0	35,0	36,1	37,9	39,4
30,7	34,8	33,6	37,6	39,1
31,5	35,3	35,8	37,9	39,7
31,2	34,9		37,8	
31,4				
31,5				
31,6				
31,6				
31,3				

MW: 31,0°

MW: 34,5°

MW: 35,7°

MW: 37,6°

MW: 39,1°

Tabelle 5a. Mittlere Temperatur der Folie 6 im Wasser-
bade von 30°-40°C.

35,5	35,8	36,1	37,2	35,5
35,5	36,4	34,5	37,4	35,6
34,9	34,9	36,4	36,4	
			36,2	

MW: 35,3°

MW: 36,0°

MW: 35,7°

MW: 36,8°

MW: 35,6°

Die Folie 6 (Gesicht) wurde stets unter konstanter Raumtemperatur von 28°C gemessen.

temperatur - Wassertemperatur, wenn man die Kurve der Abb.2 um 45° dreht, wobei als Abszisse des Koordinatensystems die Wassertemperatur und als Ordinate die Differenz der mittleren Folientemperatur und Wassertemperatur gewählt wurde. Bei einer Wassertemperatur von $34,5^\circ\text{C}$ ist die Differenz der Wassertemperatur und mittleren Folientemperatur gleich Null. Mit zunehmender Wassertemperatur fällt sie immer weiter ab, bei 40°C z.B. beträgt die Differenz $-0,9^\circ$; mit abnehmender Wassertemperatur steigt sie, bei $30,2^\circ\text{C}$ z.B. beträgt sie $+ 0,8^\circ$.

Die Folie 6, die auf den musculus bucinatorius des Gesichtes geklebt war, wurde nicht in das Bademedium eingetaucht. Sie wurde also weiterhin unter konstanter Raumtemperatur von 28°C gemessen und ihre Mittelwerte gesondert in Abb.2 dargestellt. Diese Kurve verläuft nicht linear und fällt bei $38,2^\circ\text{C}$ Wassertemperatur ab.

4. Ausschläge des Foliengalvanometers

Die dem Wärmestrom proportionalen Ausschläge des Foliengalvanometers, die mit Hilfe der in der Eichung festgestellten Werte in $\text{cal/cm}^2\text{s}$ umgerechnet wurden, waren verschieden gerichtet. Lagen die Temperaturen des umgebenden Mediums unterhalb des Punktes, an dem kein Temperaturgefälle zwischen Körperoberfläche und umgebenden Medium besteht, so wurde die Richtung des Ausschlages mit negativem Vorzeichen versehen. Hierher gehören die Messungen, die in einem Raume von konstanter Temperatur von 28°C und im Wasserbade von 30° und 34°C durchgeführt wurden. Lagen die Temperaturen des umgebenden Mediums über diesem Punkt, so waren die Folienschläge entgegengesetzt gerichtet und wurden mit positivem Vorzeichen versehen. Hierher gehören vor allem die Wasserbäder von 38° und 40°C . An dritter Stelle seien noch die Bäder von 36°C genannt. Sie lagen um den Indifferenzpunkt, die Folien ausschläge waren zum Teil beim Eintauchen in das Bademedium schon positiv, liefen jedoch bald dem Nullpunkt zu und wurden bereits nach kurzer Zeit negativ.

5. Konstanz der Wärmestromdichte

Die Kurven, die die Wärmestromdichte in der Zeiteinheit darstellen (Abb.3,4 und 5), verlaufen gekrümmt. Sie fallen

Tabelle 6: Hüssschlag der Folie 7 zu den verschiedenen
Badezeiten.

Badtemp.	Versuchs- person	Zeit	Hüssschlag in mm.	umgerechnete Cal in $\times 10^{-3}$ cal/cm ² s
30°	Balk	0'	-82	-13,12
		1'	-49	-7,84
		2'	-34	-5,44
		3'	-29	-4,64
		4'	-29	-4,64
		12'	-22	-3,52
		13'	-22	-3,52
30°	Schmitt	1'	-53	-8,48
		2'	-43	-6,88
		3'	-43	-6,88
		14'	-29	-4,64
30°	Litten	0'	-45	-12,00
		1'	-48	-7,68
		2'	-35	-5,60
		3'	-25	-4,00
		4'	-25	-4,00
		13'	-17	-2,72
		14'	-15	-2,70
30°	Sigl	0'	-43	-11,68
		1/2'	-56	-8,96
		1'	-46	-7,36
		2'	-34	-5,44
		3'	-31	-4,96
		24'	-18	-2,88
		25'	-17	-2,72
33°	Schmitt	0'	-35	-5,60
		1'	-16	-2,56
		2'	-19	-3,04
		3'	-16	-2,56
		7'	-13	-2,08
32°	Litten	1'	-2	-0,32
		2'	-6	-0,96
		12'	-13	-2,08
		13'	-13	-2,08
		14'	-13	-2,08

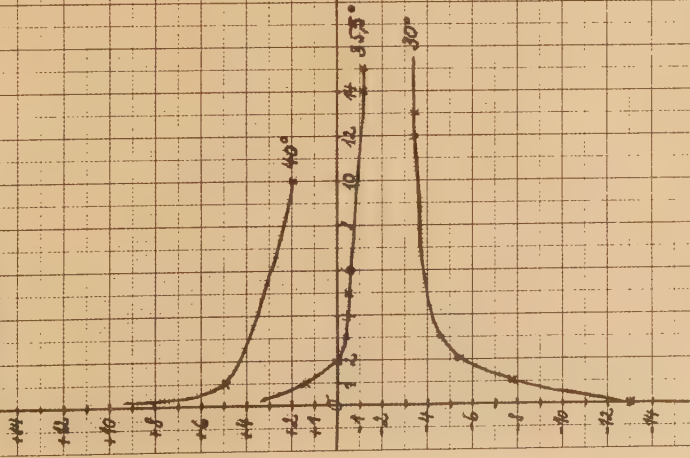
Tabelle 6. Fortsetzung

Badtemp.	Versuchsperson	Zeit	Rüsschlag in mm	umgerechnete Cal in $\times 10^{-3}$ cal/cm ² s
35,5°	Balk	1'	+10	+1,6
		2'	0	0
		3'	-2	-0,32
		4'	-3	-0,48
		5'	-3	-0,48
		14'	-7	-1,12
		15'	-7	-1,12
34,0°	Schnitt	0'	+17	+2,72
		1'	-7	-0,64
		2'	-6	-0,96
		3'	-8	-1,28
		4'	-9	-1,44
		5'	-11	-1,76
		6'	-12	-1,92
		7'	-11	-1,76
		8'	-12	-1,92
		9'	-15	-2,40
		22'	-17	-2,72
34,0°	Litten	0'	+14	+2,24
		1'	-2	-0,32
		2'	-5	-0,80
		3'	-7	-1,12
		10'	-11	-1,76
		11'	-12	-1,92
		12'	-12	-1,92
34,0°	Sigl	0'	+25	+4,00
		1/2'	0	0
		1'	-3	-0,48
		2'	-8	-1,28
		3'	-8	-1,28
		17'	-15	-2,40
		18'	-16	-2,56
		19'	-15	-2,40
36,0°	Litten	0'	+50	+8,00
		1'	+35	+5,60
		2'	+27	+4,32
		3'	+15	+2,40
		4'	+13	+2,08
		15'	-3	-0,48
		16'	-3	-0,48
36,0°	Sigl	1'	+26	+4,16
		2'	+10	+1,6
		3'	+5	+0,8
		4'	+2	+0,32
		5'	+1	+0,16
		6'	+0	0
		19'	-5	-0,8
		20'	-5	-0,8
38°	Schnitt	0'	+25	+4,00
		1'	+23	+3,68
		10'	+3,0	+0,48
38°	Litten	0'	+81	+12,96
		1/2'	+56	+8,96
		1'	+33	+5,28
		2'	+20	+3,20
		13'	+4	+0,64
		14'	+4	+0,64

Tabelle 6: 2. Fortsetzung

Badtemp	Versuchs- person	Zeit	Hüsschlag in mm	ümgerechnete Cal in $\times 10^{-3}$ cal/cm ² s
38°	Sigl	1'	+57	+9,12
		2'	+41	+6,56
		3'	+30	+4,80
		4'	+20	+3,20
		16'	+6	+0,96
		17'	+5	+0,80
40°	Bolh	1'	+31	+4,96
		2'	+34	+5,44
		10'	+13	+2,08
40°	Schmitt	0'	+43	+6,88
		1'	+25	+4,00
		2'	+19	+3,04
		3'	+18	+2,88
40°	Litten	1'	+82	+13,12
		2'	+58	+9,28
		4'	+40	+6,40
		5'	+32	+5,12
		21'	+12	+1,92
		22'	+11	+1,76

Wärmestromdichte
 $\frac{Q}{A}$
 $\times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{s}$

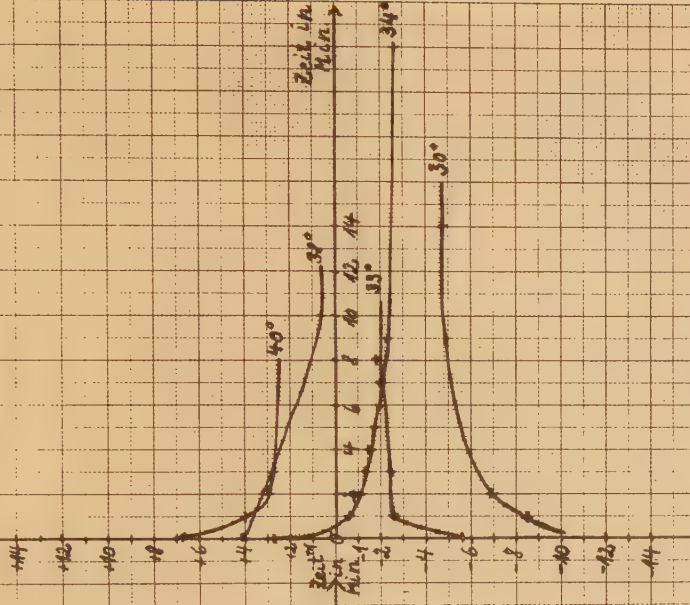


* Balk

Abb.: 3

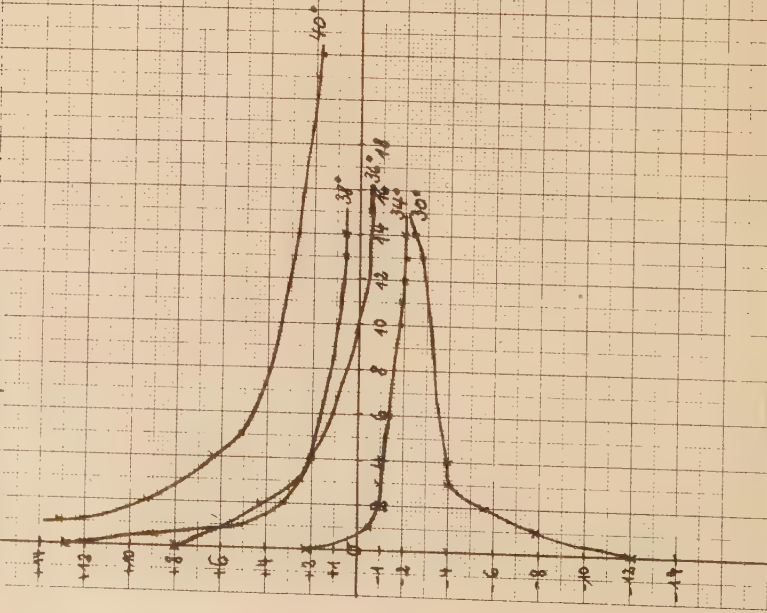
Ausschlag d. Folie im Wasserbad

Wärmestromdichte
 $\frac{Q}{A}$
 $\times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{s}$

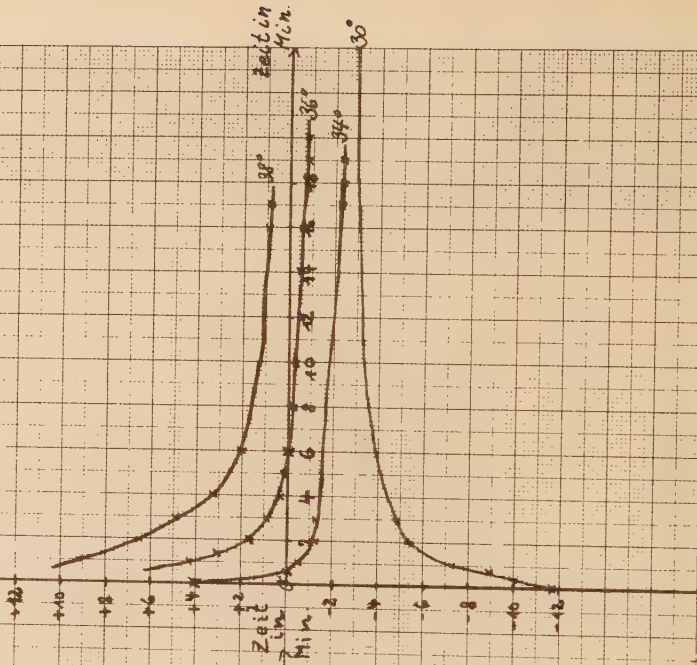


+ Schmitt

Wärmestromdichte
in $10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \text{ s}$



Wärmestromdichte
in $10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \text{ s}$



x Litten

Abb. 4 Ausschlag d. Folie 7 im Wasserbad

x Sigl

↑ Wärmestromdichte $\times 10^{-3}$
cal/cm²s

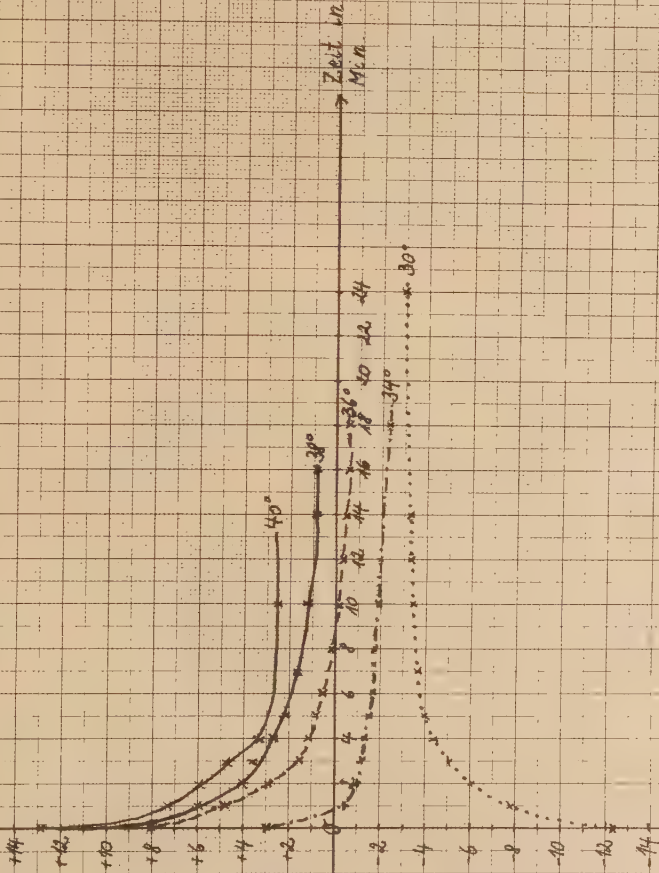


Abb: 5 Mittelwert d. Calorien zur Feststellung d. Konstanz der Wärmestromdichte

zunächst steil ab, dann laufen sie fast waagerecht.

Wir versuchten nun, die Punkte der Kurven logarithmisch aufzutragen. Dabei ergab sich wiederum eine gekrümmte Kurve, so daß die Annahme gerechtfertigt ist, daß diese Kurve keine einfache Funktion ist. Die 30°C Kurve beginnt bei $-12 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$, also weit negativ, fällt in den ersten 10 Minuten auf $-3,4 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$, also um fast $8 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$ und verläuft dann mehr oder weniger konstant.

Die 34°C Kurve, anfangs eine Wärmestromdichte von $+3 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$ zeigend, erreicht bereits nach einer halben Minute den Nullpunkt und fällt in den ersten 10 Minuten auf $-2 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$, also um $5 \text{ cal/cm}^2\text{s}$ ab und verläuft dann konstant. Ähnlich verlaufen auch die anderen Kurven. Auch sie zeigen in den ersten 10 Minuten einen Kalorienabfall von $8 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$. Die 36°C Kurve erreicht nach 9 Minuten den Nullpunkt.

Aus dem Kurvenverlauf leitet sich die Berechtigung ab, daß man die Kurven in zwei Abschnitte teilt:

1. in einen Übergangsabschnitt (hier fallen die Kurven ab) und
2. in einen annähernd konstanten Kurvenverlauf.

Zur Berechnung der stationären Wärmestromdichte mußte also zunächst die Zeit bestimmt werden, von der an die Wärmeströme pro Flächeneinheit annähernd konstant verliefen. Dazu wurden die Messungen der Folie 7 verwandt.

An Hand dieser Folie sei der Ablauf eines Versuches kurz dargestellt. Sie war, wie in der Methodik bereits angeführt, auf den Körperstamm und zwar auf das Abdomen in Höhe des musculus abdominis externus aufgeklebt. Nach einer kurzen Messung bei konstanter Raumtemperatur von 28°C wurde die Versuchsperson in das Wasserbad getaucht. Dabei registrierte nur die Folie 7 den Übergang des Körpers von der Raumtemperatur in das Bademedium und läßt somit auch die Beobachtung des genauen Wärmestromverlaufes pro cm^2 Körperfläche in der Zeiteinheit nach 1,2,3 Minuten usw. zu, ein wertvoller Hinweis, wenn man beobachten will, nach welcher Zeit sich die Wärmestromdichte konstant oder, besser gesagt, annähernd konstant einstellt. Eine kleine stetige Verschiebung mußte sie stets erfahren, da bei diesen Versuchen das Bad mit einer bestimmten Temperatur

hergerichtet wurde, dann allmählich abkühlte und nicht durch Zulaufenlassen von wärmerem Wasser auf seiner Temperatur konstant gehalten wurde.

Zur Klärung der Frage nach der Konstanz der Wärmestromdichte sei Tab.6 angeführt. Sie zeigt uns den Ausschlag der Folie 7 zu den verschiedenen Badezeiten bei den einzelnen Versuchspersonen. Diese Einzelwerte - in mm registriert - wurden durch Multiplikation mit dem Eichfaktor $1,6 \times 10^{-3}$ in $\text{cal/cm}^2\text{s}$ umgerechnet. Die Werte stellten wir in einem Koordinatensystem dar, dessen Abszisse die Zeit in Minuten, die Ordinate die Wärmestromdichte in $\text{cal/cm}^2\text{s}$ angibt, der Parameter ist die Badetemperatur. In Abb.3 und 4 wurden diese Werte für jede Versuchsperson gesondert eingetragen. Will man nun die mittlere Wärmestromdichte feststellen, so addiert man die Kalorienwerte zu jeweils einer bestimmten Zeit und dividiert sie durch die Anzahl der Versuchspersonen. Die der jeweiligen Badetemperatur zugehörige Kurve ist aus Abb.5 zu ersehen.

Eine weitgehende Konstanz der Wärmestromdichte stellt sich also bei allen Badetemperaturen erst nach 7 - 10 Minuten ein.

Um die stationäre Wärmestromdichte der anderen Folien, die über den Körper verteilt waren, zu erhalten, mußte man die jenseits der 10 Minutengrenze gemessenen Werte verwenden. In Tab.7 sind die Folienwerte nach mehr als 10 Minuten Badezeit zusammengestellt und ihre Mittelwerte errechnet. Im Koordinatennetz ergeben diese stationären Werte der Wärmestromdichte in Abhängigkeit von der Wassertemperatur die in Abb.6 dargestellten Kurven. Die Beziehung ist nicht streng linear. Betrachtet man alle Kurven, so ergibt sich, daß im kühlen Wasser ein Wärmestrom von innen nach außen besteht, im warmen Wasser umgekehrt. Wenn man die verschiedenen Meßpunkte anschaut, muß man feststellen, daß der Wärmestrom pro cm^2 Körperfläche an den Extremitäten sowohl nach der kalten als nach der warmen Seite viel stärker mit der Badetemperatur zunimmt als am Stamm. Man sieht außerdem, daß die Kurve der Folie 1 und 3 (Hand und Fuß) weniger stark gekrümmt verläuft als die des Körperstammes. Der Wärmestromnullpunkt, d.h. der Punkt, an dem kein Wärmestrom fließt, liegt bei den einzelnen Folien

Tab.7: ~~Absolutwerte~~ ^{Einzel-} der Wärmeströme ^{dichte} der Folien 1 - 7 in Wasserbädern von 30-40°C angegeben in $\times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \text{ s}$.

Folien	30°	34°	36°	38°	40°
F ₁	+5,40	-1,50	-1,20	+1,35	+7,35
	-4,80	-2,55	+3,30	+0,30	+5,70
	-3,15	-1,20		+4,05	-1,95
	-3,60			+2,85	
F ₂	-1,92	-1,28	+0,48	-0,16	+2,80
	-4,00	-3,20	+0,24	+1,84	+2,64
	-3,68	-2,16		+0,64	+3,04
	-4,24			+1,84	
F ₃	-5,85	-2,70	+3,15	+3,45	+4,35
	-5,70	-0,60	-0,30	+3,75	+4,80
	-4,64	-2,10		+3,75	+5,40
	-4,05				
F ₄	-2,70	-1,10	+0,20	+0,80	+1,80
	-3,00	-1,50	-0,30	+1,20	+1,60
	-2,50	-1,80		+1,30	+2,50
	-3,20			+1,30	
F ₅	-6,00	-3,50	-0,50	+1,00	+2,25
	-6,38	-2,13	-1,13	+0,88	+2,38
	-4,13	-3,00		+0,63	+1,88
	-3,25			+1,25	
F ₆	-4,48	-3,64	-2,66	-7,00	-13,14?
	-3,92	-3,92	-6,58	-5,88	-4,76
	-2,52	-3,22		-5,32	
	-3,22			-4,48	
F ₇	-3,52	-2,72	-0,48	+0,80	+2,08
	-4,64	-2,24	-0,80	+0,48	+3,52
	-2,72	-2,40		+0,64	+2,08
	-3,04			+0,96	

Tab.7: Mittelwerte der Wärmeströme ^{dichte} ($\times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$) und der Badetemperaturen in Wasserbädern von 30 - 40°C.

Folien	30,2°	34,3°	36,2°	38,2°	40°
F ₁	-4,24	-1,75	+1,05	+2,14	+3,70
F ₂	-3,48	-2,21	+0,36	+1,04	+2,82
F ₃	-5,06	-1,80	+1,42	+3,65	+4,85
F ₄	-2,85	-1,46	-0,05	+1,15	+1,96
F ₅	-4,94	-2,87	-0,81	+0,94	+2,17
F ₆	-3,53	-3,59	-4,62	-5,67	-8,95
F ₇	-3,48	-2,45	-0,64	+0,74	+2,56

stat. Wärmestromdichte
x 10⁻³ cal/cm²s

stat. Wärmestromdichte
(x 10⁻³ cal/cm²s)

Wasser-
Temp.
in Grad C

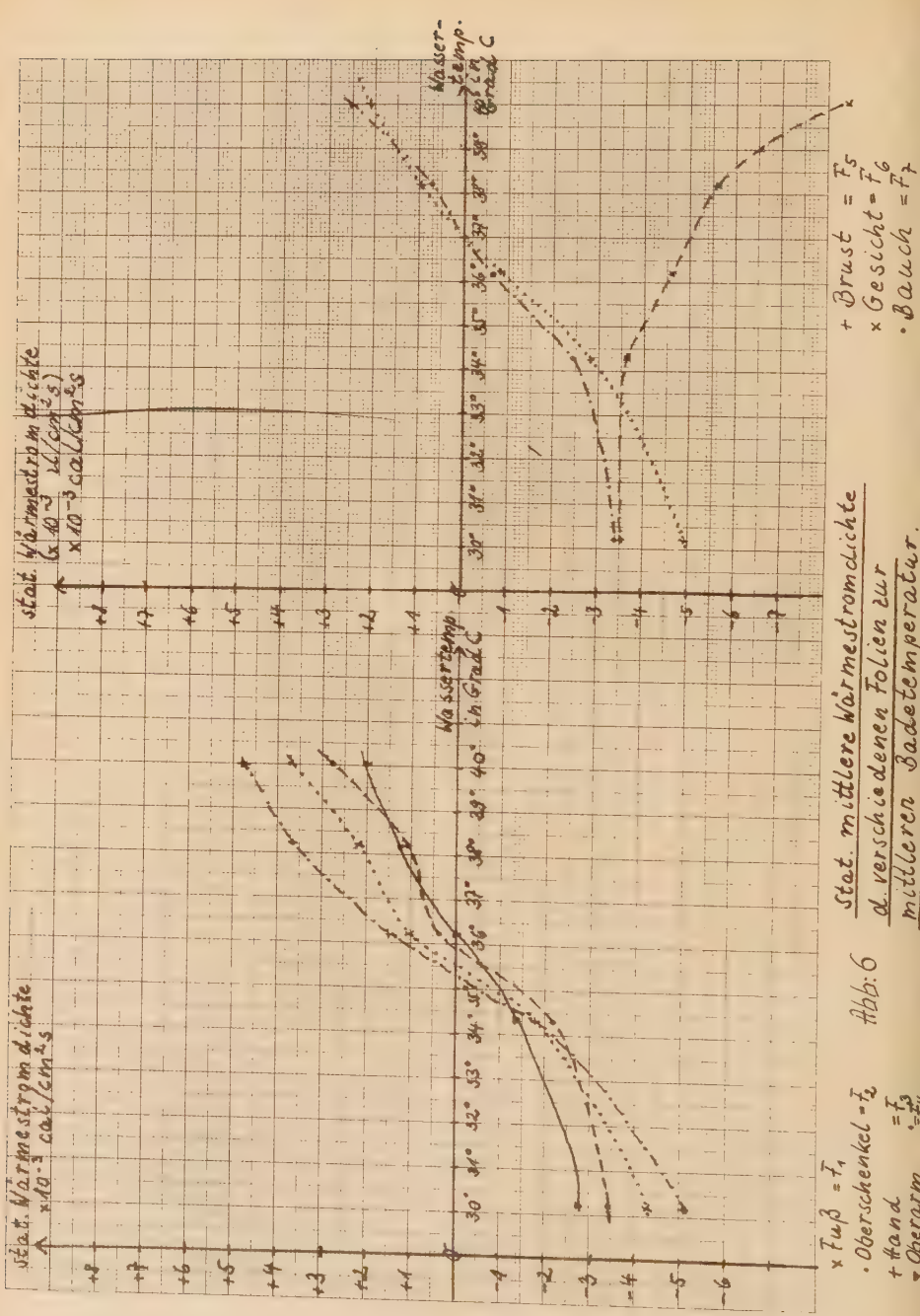
Wasser-
Temp.
in Grad C

+ Brust = F₅
x Gesicht = F₆
• Bauch = F₇

Stat. mittlere Wärmestromdichte
d. verschiedenen Folien zur
mittleren Badetemperatur.

Abb. 6

x Fuß = F₁
• Oberschenkel = F₂
+ Hand = F₃
• Oberarm = F₄



verschieden. Folie 7 und Folie 5 (Bauch und Brust) haben ihren Wärmestromnullpunkt bei $37,0^{\circ}\text{C}$, Folie 4 (Oberarm) bei $36,2^{\circ}\text{C}$; Folie 2 (Oberschenkel) bei $35,9^{\circ}\text{C}$, Folie 1 (Fuß) bei $35,5^{\circ}\text{C}$ und Folie 3 (Hand) bei $35,3^{\circ}\text{C}$, man hat auch hier einen vom Körperstamm zur Peripherie hin negativen Temperaturgradienten. Die allgemeine Indifferenztemperatur des Badewassers, d.h. die Temperatur, an der kein Wärmestrom zwischen Körperoberfläche und Badewasser fließt, liegt sicher nicht unter 35°C , sondern fällt in den Bereich von 35° und 37°C . Einige Grade um den Wärmestromnullpunkt herum steigen alle Kurven steiler, dann verlaufen sie wieder flacher.

Die Kurve der Folie 6 (Gesicht) zeigt auch keine einfache Beziehung, d.h. keine lineare Wärmeabgabe bei Abnahme der Badetemperatur. Es ergibt sich eine gekrümmte Kurve, das bedeutet, daß bei höheren Badetemperaturen an der Wärmeabgabe nicht nur Leitung und Konvektion beteiligt sind, sondern daß noch ein zusätzlicher Mechanismus in Frage kommt, nämlich die Verdunstung.

Gewogenes Mittel der Wärmestromdichte

Zur Berechnung der über die Körperoberfläche gemittelten Wärmestromdichte wurden zunächst die Einzelwerte der in $\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}$ bestimmten Wärmestromdichte mit der für die betreffende Körperstelle zugehörigen Flächenprozentzahl multipliziert.

Unter der Flächenprozentzahl versteht man die Zahl, die angibt, wieviel Prozente der Gesamtfläche, die gleich 100% gesetzt wird, auf die Hautfläche des betreffenden Körperabschnittes entfällt.

Die Verteilung der Flächenprozente wurde, wie bereits erwähnt, in Anlehnung an Büttner (6) folgendermaßen gewählt:

Fuß	14%
Oberschenkel	23%
Hand	7%
Oberarm	10%
Brust	18%
Gesicht	12%
Bauch	16%
Sa:	100%

Die für die einzelnen Folien sich ergebenden Werte wurden nun addiert und durch die Summe der Flächenprocente dividiert. In unserem Falle betrug diese Summe nur 88%, da die Folie 6 (Gesicht) außerhalb des Bademediums verblieb. Sie wurde nicht in die über die Körperoberfläche gemittelte Wärmestromdichte miteinbezogen, daher kamen 12% der Gesamtfläche in Abzug.

Die Werte der über die Körperoberfläche gemittelten Wärmestromdichte sind für die einzelnen Versuchspersonen in Tab.8 erfaßt und in Abb.7 und 8 in Abhängigkeit von der Wassertemperatur in ein Koordinatensystem eingetragen.

Zur Bestimmung des gewogenen Mittels der Wärmestromdichte konnten nur die Versuchspersonen herangezogen werden, bei denen alle Meßpunkte vollständig vorhanden waren. Bei Versuchsperson I (Ba.) gestaltete sich die Bestimmung deswegen problematisch, weil bei dieser Messung, und zwar bei den Bädern von 36° und 38° , zwei wichtige Folien versagten, so daß die Wärmestromdichte insgesamt bei diesen Temperaturen nicht dem tatsächlichen gewogenen Mittel der Wärmestromdichte entspricht. Bei den übrigen 3 Versuchspersonen ergibt das gewogene Mittel der Wärmestromdichte, wie schon aus den Meßwerten zu erwarten war, keine lineare Beziehung, sondern eine S-förmig verlaufende Kurve. Die Steilheit dieser Kurve ist einige Grade um den Wärmestromnullpunkt größer als bei Temperaturen, die 3° - 4° von diesem entfernt sind. Der Wärmestromnullpunkt liegt bei den 3 Versuchspersonen zwischen $35,9^{\circ}$ und $37,0^{\circ}\text{C}$, d.h. die Wassertemperatur, bei der der Wärmestrom Null ist, liegt bei 36°C .

Mittelt man die Werte der über die Körperoberfläche gemittelten Wärmestromdichte, wie es in Abb.9 geschehen ist, so ist bei 40° die Abflachung noch nicht so deutlich wie bei 30°C . Die Kurve ergibt ebenfalls keine geradlinige Beziehung zwischen Wassertemperatur und über die Körperoberfläche gemittelte Wärmestromdichte, sondern verläuft S-förmig, der Wärmestromnullpunkt ist im Mittel wie zu erwarten bei $36,2^{\circ}\text{C}$.

7. Mittlerer integraler Wärmestrom

Zur Berechnung des mittleren Wärmestromes wurde das gewogene Mittel der Wärmestromdichte mit der Meßzahl der Körperoberflä-

Tab.8: Berechnung der Einzelwerte des gewogenen Mittels der Wärmestromdichte in Wasserbädern von 30° - 40°C in cal/s angegeben.

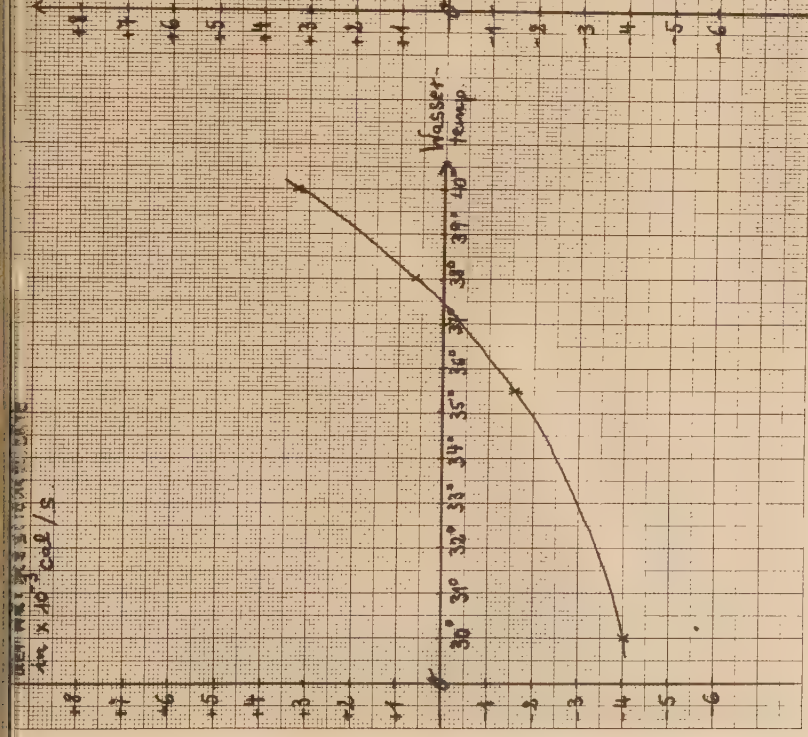
Folien	30°	34°	36°	38°	40°
Balk: F ₁	-75,60		-16,80	+18,90	+102,90
F ₂	-44,16		-16,56	- 3,68	+ 64,40
F ₃	-40,95		-29,34	--	+30,45
F ₄	-27,00		-39,20	+ 8,00	+18,00
F ₅	-108,00		-17,92	+18,00	+40,50
F ₆	--		--	--	--
F ₇	-56,32			+12,80	+33,28
Einzelwerte	-4,00		- 1,53	+ 0,67	+ 3,29
Schmidt F ₁	-67,20	-21,00		+ 4,20	+79,80
F ₂	-92,00	-29,44		+42,32	+60,72
F ₃	-39,90	-18,90		+24,15	+33,60
F ₄	-30,00	-11,00		+12,00	+16,00
F ₅	-114,84	-63,00		+15,84	+42,84
F ₇	-74,24	-43,52		+ 7,68	+56,32
Einzelwerte	-4,75	- 2,12		+ 1,21	+ 3,28
Litten F ₁	-44,10	-35,70	-16,80	+56,70	-27,30
F ₂	-84,64	-73,60	+11,04	+14,72	+69,92
F ₃	-32,55	- 4,20	+22,05	+26,25	+37,80
F ₄	-25,00	-15,00	+ 2,00	+13,00	+25,00
F ₅	-74,34	-38,44	- 9,00	+11,34	+33,84
F ₇	-43,52	-35,84	- 7,68	+10,24	+33,28
Einzelwerte	-3,46	-2,30	+ 0,02	+ 1,50	+ 1,96
Sigl F ₁	-50,40	-16,80	+46,20	+39,90	
F ₂	-97,52	-49,68	+ 5,52	+42,32	
F ₃	-28,35	-14,70	- 2,10	+26,25	
F ₄	-32,00	-18,00	- 3,00	+13,00	
F ₅	-58,50	-54,00	-20,34	+22,50	
F ₇	-48,64	-38,40	-12,80	+15,36	
Einzelwerte	-3,58	- 2,18	+ 0,15	+ 1,81	

Tab.8: Mittelwerte der Badetemperaturen und des gewogenen Mittels der Wärmestromdichte aus den Einzelwerten des gewogenen Mittels.

	30,2°	34,3°	36,2°	38,2°	40°
Einzelwerte:	-4,00				+3,29
	-4,75	-2,12		+1,21	+3,28
	-3,46	-2,30	+0,02	+1,50	+1,96
	-3,58	-2,18	+0,15	+1,81	
Mittelwerte:	-3,95	-2,20	+0,08	+1,57	+2,84

GEN. WÄRMESTROMDICHTE
 $\text{m} \times 10^{-3} \text{ cal/s}$

↑ gen. Wärmestromdichte
 $\text{m} \times 10^{-3} \text{ cal/s}$



x Balk

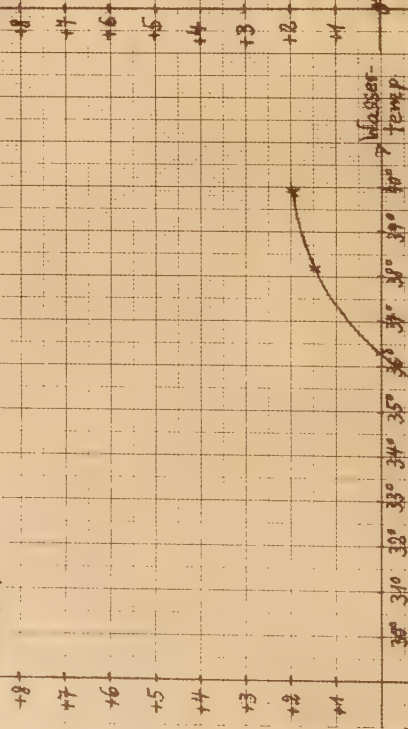
Wasser-Temp.

Wasser-Temp.

Abb: 7 Genogenes Mittel der Wärmestromdichte
 bei den einzelnen Versuchspersonen in Abhängigkeit von der
 Wassertemperatur.

x Schmitt

gewogenes Mittel der
Wärmestromdichte
 $\times 10^{-3} \text{ cal/s}$



x Lötten

gewogenes Mittel der
Wärmestromdichte
 $\times 10^{-3} \text{ cal/s}$

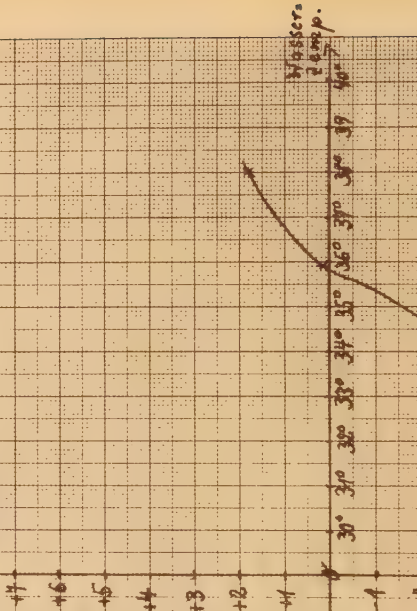


Abb. 8 Gewogenes Mittel d. Wärmestromdichte
bei den einzelnen Versuchspers.

x Sigl

Die Wärmestromdichte ist die Wärmestrom pro Fläche.

Mittleres gewogenes
Mittel d. Wärmestrom-
dichte $\times 10^{-5} \text{ cal/s}$

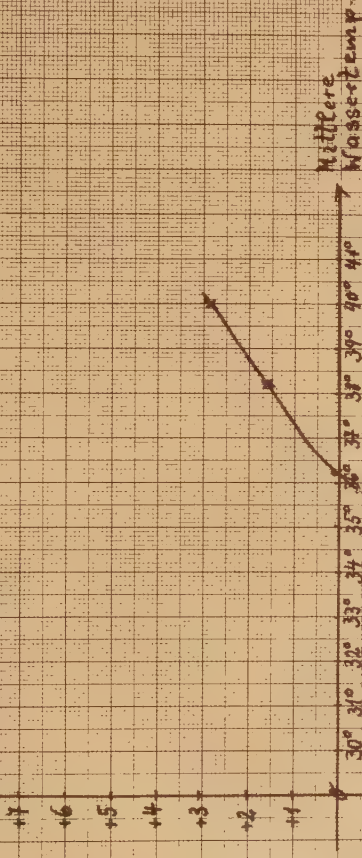


Abb: 9 Mittelwerte Wassertemperatur - Mittelwerte des gewogenen Mittels der Wärmestromdichte

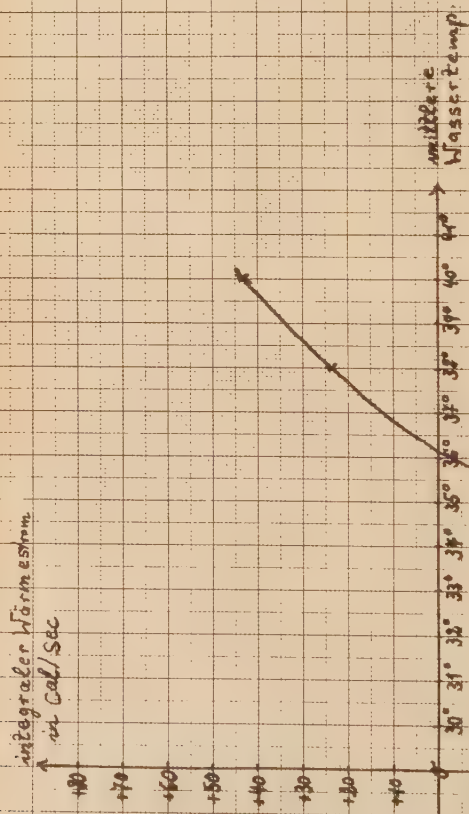


Abb. 10 Mittlerer integraler Wärmestrom
in Abhängigkeit von der mittleren Wassertemperatur.

che multipliziert. Die Gesamtkörperoberfläche der Versuchspersonen war im Mittel $1,77 \text{ m}^2$. Da der Kopf dem Bademedium nicht ausgesetzt war, so entspräche die wirklich gebadete Körperoberfläche ca $1,55 \text{ m}^2 = 15500 \text{ cm}^2$.

Der integrale mittlere Wärmestrom wurde nun in einem Koordinatensystem dargestellt, dessen Abszisse die mittlere Wassertemperatur und dessen Ordinate der mittlere integrale Wärmestrom in cal/sec ist (Abb.10).

Entnehmen wir der Abb.10 einzelne Werte:

Bei 30°C Badetemperatur beträgt der integrale Wärmestrom im Mittel -62 cal/sec , d.h. jede Sekunde gibt der Körper 62 cal an das Badewasser von 30°C ab. Bei 34°C Badetemperatur beträgt die Wärmeabgabe pro Sekunde $37,2 \text{ cal}$, bei 36°C Badetemperatur noch $3,36 \text{ cal/sec}$. Bei 38°C mittlerer Badetemperatur ist der mittlere integrale Wärmestrom $+ 23,25 \text{ cal/sec}$, der Körper nimmt also in jeder Sekunde $23,25 \text{ cal}$ Wärme aus dem Wasserbade auf. Bei 40°C Badetemperatur macht die Wärmeaufnahme sogar $43,4 \text{ cal/sec}$ aus.

3. Wärmedurchgangswiderstände

Der Wärmedurchgangswiderstand ist der Widerstand, den die Wärme überwinden muß, wenn sie vom umgebenden Bademedium in den Körperkern oder umgekehrt vom Körperkern in das Bademedium gelangen will. Dieser Gesamtwärmedurchgangswiderstand läßt sich in einen inneren zwischen Körperkern und Körperoberfläche und einen äußeren Widerstand zwischen Körperoberfläche und Bademedium teilen. Es wurde nun versucht, mit Hilfe der gefundenen Wärmeströme pro Flächeneinheit die Wärmedurchgangswiderstände zu berechnen.

Der innere Wärmedurchgangswiderstand, d.h. der Widerstand zwischen Körperkern und Körperoberfläche ergab sich aus der Differenz der Rectaltemperatur und zugehörigen Folientemperatur, dividiert durch die für die betreffende Stelle ermittelte Wärmestromdichte. Diese Berechnung soll ein Beispiel erhellen. Bei Versuchsperson III (Li.) fand sich in einem Bade von $30,2^\circ\text{C}$ eine Rectaltemperatur von $37,2^\circ\text{C}$ und eine zugehörige Einzelfolientemperatur von $31,0^\circ\text{C}$. Die betreffende Wärmestromdichte wurde mit $-4,65 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$ gemessen. ΔT , nämlich die Differenz Rectaltemperatur - Folientemperatur, beträgt $37,2^\circ - 31,0^\circ = 6,2^\circ$. Dividiert man nun ΔT durch die Wärmestromdichte, also

$$\frac{6,2}{4,65 \cdot 10^{-3}}, \text{ so erhält man } 1,333 \times 10^3 = 1333 \frac{(\text{cm}^2 \text{s}^\circ \text{C})}{\text{cal}}.$$

Der innere Wärmedurchgangswiderstand ist bei diesem Beispiel 1333 ($\text{cm}^2 \text{s}^\circ \text{C} / \text{cal}$).

Die Berechnung des äußeren Wärmedurchgangswiderstandes, d.h. des Widerstandes, den die Wärme zwischen Körperoberfläche und umgebenden Bademedium oder umgekehrt überwinden muß, soll gleich an Hand desselben Beispiels durchgeführt werden. Der äußere Wärmedurchgangswiderstand ergibt sich nun aus der Differenz Folientemperatur - Badtemperatur, gleich $\Delta \bar{\vartheta}$ außen. Bei unserem Beispiel ist $\Delta \bar{\vartheta} = 31,0^\circ - 30,2^\circ = 0,8^\circ$. Dividiert man $\Delta \bar{\vartheta}$ wiederum durch die Wärmestromdichte, so erhält man den äußeren Wärmedurchgangswiderstand, in unserem Falle

$$\frac{0,8}{4,65 \cdot 10^{-3}} = 0,172 \times 10^3 = 172 \text{ (cm}^2 \text{s}^\circ \text{C/cal)}.$$

Der äußere Wärmedurchgangswiderstand, d.h. der Widerstand zwischen Bademedium und Körperoberfläche wäre dann 172 ($\text{cm}^2 \text{s}^\circ \text{C} / \text{cal}$).

Der Gesamtwärmedurchgangswiderstand ergibt sich dann aus der Summe des inneren und äußeren Widerstandes.

Nach dieser Berechnungsmethode bestimmten wir zunächst die inneren Wärmedurchgangswiderstände und stellten sie in Tab.9 zusammen. Wie nicht anders zu erwarten, schwanken diese Kennzahlen je nach der untersuchten Körperstelle. Ihre Einzelwerte fallen in den Bereich von 0 - 6521 ($\text{cm}^2 \text{s}^\circ \text{C} / \text{cal}$). Stellt man auch hier wiederum die Mittelwerte für die einzelnen Körperstellen fest, so ist der kleinste 80 ($\text{cm}^2 \text{s}^\circ \text{C} / \text{cal}$) und der größte 3442 ($\text{cm}^2 \text{s}^\circ \text{C} / \text{cal}$). Über alle Körperstellen hinweg mit Ausnahme des Gesichtes (F_G), das außerhalb des Bademediums lag, ergeben sich Werte, die zwischen 522 und 1655 ($\text{cm}^2 \text{s}^\circ \text{C} / \text{cal}$) liegen. In Abb.11 sind die zuletzt ermittelten Werte in Abhängigkeit der mittleren Wassertemperatur in einem Koordinatensystem dargestellt. Dabei ergibt sich eine gekrümmte Kurve, die bei $30,2^\circ$ Badetemperatur einen inneren Wärmedurchgangswiderstand des badenden Körpers von 1665 ($\text{cm}^2 \text{s}^\circ \text{C} / \text{cal}$) zeigt, dann abfällt (bei $34,3^\circ \text{C}$ Wassertemperatur innerer Widerstand 1420 ($\text{cm}^2 \text{s}^\circ \text{C} / \text{cal}$)), bei $36,2^\circ \text{C}$ erneut ansteigt und dann schließlich abfällt. Bei 40°C Badetemperatur beträgt der innere Widerstand 522 ($\text{cm}^2 \text{s}^\circ \text{C} / \text{cal}$).

Für den Wärmedurchgangswiderstand zwischen Bademedium und Hautoberfläche sind die Zahlenwerte in Tabelle 10

Einzel-
Tab.9 Absolutwerte der inneren Wärmewiderstände in Wasser-
bädern von 30 - 40°C in cm²s°C/cal angegeben.

Folien	30°	34°	36°	38°	40°
F ₁	1240		417	222	0
	1417		666	2000	175
	2095	2156		49	871
	1583	1500			
F ₂	3281	2579	1805	3750	1118
	1793	1187	2000	1358	
	1293	740	6521 ?	3750	
F ₃	923				345
	930	592	222	173	229
	1333	4666	2000	0	314
	1333	857			
F ₄	2370		600	500	611
	1733	1454	4500	416	625
	1656	1733	2000	230	140
	2600	1111			
F ₅	916		735	200	311
	879	542	1400	682	462
	1380	1502	2743	3333	639
	1630	500			
F ₆	312	329	359	17	179
	674	204	864	0	1491
	621	497	45	225	
F ₇	1704		1250	250	480
	1293	625	1666	625	284
	2390	1205	1125	312	865
	1842	791			

Tab.9: Mittelwerte der inneren Wärmewiderstände.

Folie	30°	34°	36°	38°	40°
F ₁	1584	1828	541	757	349
F ₂	2122	1502	3442	2952	1118
F ₃	1129	2038	1111	86	296
F ₄	2089	1432	2366	382	359
F ₅	1201	848	1626	1405	470
F ₆	535	340	422	80	835
F ₇	1807	874	1347	395	543

Einzel-

Absolutwerte: 0 - 6521

Mittelwerte: 80 - 3442

Mittelwerte der F₁ - F₇ ohne F₆.

Badetemp.	inn.Widerstand
30,2°	1655
34,3°	1420
36,2°	1739
38,2°	996
40,0°	522

Tab.10: ~~Einzel-~~ ~~Reservatwerte~~ der äußeren Wärmewiderstände in Wasserbädern von 30-40°C in cm²s°C/cal angegeben.

Folien	30°	34°	36°	38°	40°
F ₁	37		208	592	285
	41			5000	210
	127	1099	416	199	256
	139	250			
F ₂	312	859	278	3125	
	108	344	3478	1848	
	165	277	1333	4686	394
F ₃	256				137
	300	592		84	229
	172	166	127	160	92
	197	143	333		
F ₄	185		400	875	555
	600	545		333	750
	200	66	3000	230	280
	281	55	333		
F ₅	233		184	900	622
	219	85		341	462
	314	234	800	4095	532
	276	200	2124		
F ₆	1227	274	179	171	335
	2103	484	751	153	1953
	1304	62	60	357	
F ₇	256		89	1125	529
	215	183		1250	340
	184	0	1041	625	192
	197	83	250		

Tab.10: Mittelwerte der äußeren Wärmewiderstände.

Folie	30°	34°	36°	38°	40°
F ₁	86	674	312	1930	250
F ₂	195	493	1696	3219	394
F ₃	231	300	230	122	153
F ₄	316	222	1244	479	528
F ₅	260	173	1036	1778	538
F ₆	1544	273	330	227	1144
F ₇	213	88	460	1000	353

Einzel-
Absolutwerte: 0 - 5000

Mittelwerte: 86 - 3219

Mittelwerte der F₁ - F₇ ohne F₆

Badetemp.	äußerer Wärmewiderstand
30,2°	218
34,3°	305
36,2°	899
38,2°	1498
40,0°	366

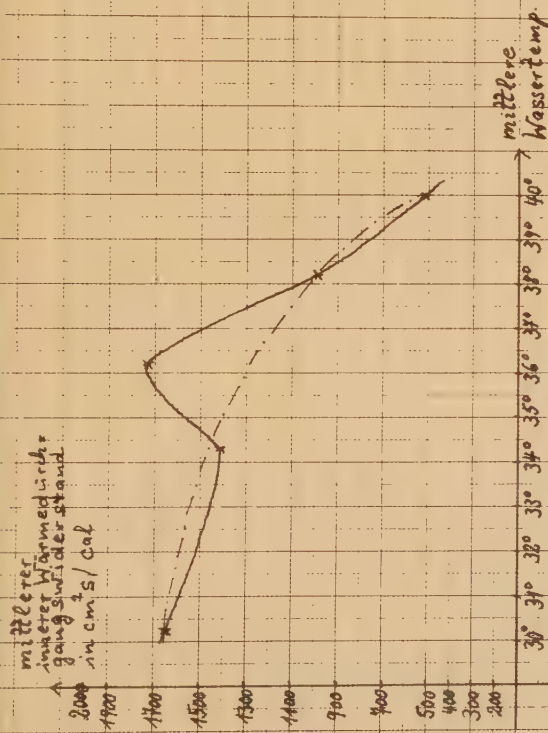


Abb. 11. Mittelwerte d. inneren Wärmedurchgangswiderstandes ($F_1 - F_2$ ohne T_0)
in Abhängigkeit d. mittleren Wassertemperatur.

des Bereichs
mittleren Wärme-
durchgangswiderstandes
in cm^2/cal

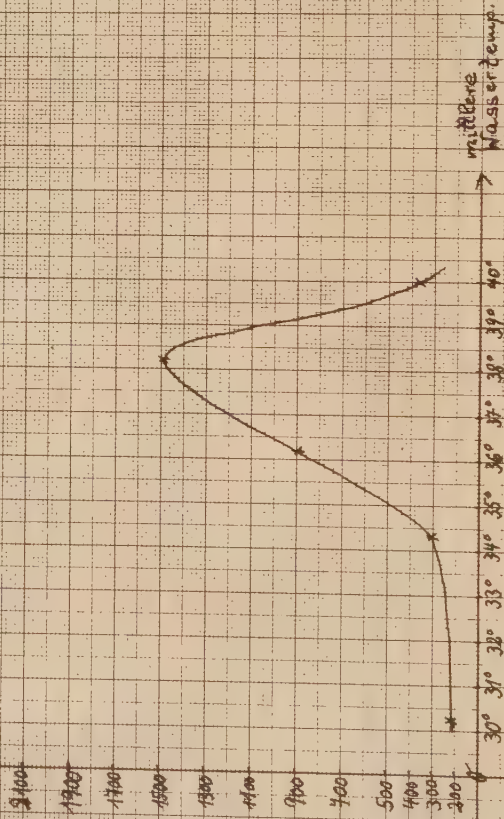


Abb. 12 Mittelwerte des äußeren Wärmedurchgangswiderstandes ($F_1 - F_2$ ohne T_0)
in Abhängigkeit der mittleren Wassertemperatur.

zusammengestellt. Die Einzelwerte liegen zwischen 0 und 5000 ($\text{cm}^2\text{s}^\circ\text{C}/\text{cal}$). Der größte Mittelwert liegt bei 3219 ($\text{cm}^2\text{s}^\circ\text{C}/\text{cal}$). Dieser Wert liegt allein extrem hoch. Sieht man von ihm ab, so basieren die Mittelwerte im Durchschnitt zwischen 88 und 2000 ($\text{cm}^2\text{s}^\circ\text{C}/\text{cal}$). Wir stellten auch die Werte des äußeren Wärmedurchgangswiderstandes über den ganzen Körper mit Ausnahme des Gesichtes im Mittel fest. Es ergeben sich Werte, die für eine Badetemperatur von $30,2^\circ\text{C}$ 218, für $34,3^\circ\text{C}$ 305, für $36,2^\circ\text{C}$ 899, für $38,2^\circ\text{C}$ 1498 und für 40°C Badetemperatur 366 ($\text{cm}^2\text{s}^\circ\text{C}/\text{cal}$) sind. In ihrer Abhängigkeit von der mittleren Wassertemperatur ergibt sich die Kurve der Abb. 12. Auch diese Kurve verläuft gekrümmt. Sie steigt von 30° bis 34° Wassertemperatur nur allmählich an, bei $38,2^\circ$ Wassertemperatur hat sie ihren Gipfel, dann fällt sie stark ab, so daß bei einer mittleren Badetemperatur von 40°C der Widerstand Bademedium - Körperoberfläche 366 ($\text{cm}^2\text{s}^\circ\text{C}/\text{cal}$) ist.

Tab. 11 stellt die Werte des Gesamtwärmedurchgangswiderstandes im Wasser dar. Diese Werte brauchen nicht eigens in ihren Einzel- und Mittelwerten besprochen zu werden, da sie ja die Summe des inneren und äußeren Wärmedurchgangswiderstandes darstellen. Sie wurden lediglich der besseren Uebersicht halber zusammengestellt und geben Aufschluß über die Einzel- und Mittelwerte des gesamten Wärmedurchgangswiderstandes.

9. Moorbäder

Mit Hilfe der Folien wurden auch orientierende Versuche im Moorbreibad gemacht. Dabei ergaben sich einerseits Schwierigkeiten in der Beschaffung der Moorerde, andererseits vor allem aber in der Bereitung und Erwärmung des Breibades. Die große Menge Moor wurde teils mit warmen Wasser, teils unter Zuleitung von Wasserdampf erwärmt. Als Rührvorrichtung diente lediglich ein Holzstab, an dem das Zuleitungsrohr des Wasserdampfes befestigt war. Mit diesem sowie unter Zuhilfenahme der Hände war es nicht möglich, den Moorbrei so gut zu mischen, daß ein homogenes Temperaturfeld im Moorbreibad entstand. Es ließ sich nicht vermeiden, daß die Temperaturen an den verschiedenen Stellen der Badewanne mit relativ großen Unterschieden behaftet waren. Sie schwankten maximal zwischen 41° und 33°C . Allein aus dieser Tatsache ergibt sich, daß die Werte der im Moorbreibad gemesse-

Tab.11: Einzel-
Absolutwerte des Gesamtwärmewiderstandes in Wasser-
bädern von 30 - 40°C in cm²s°C/cal angegeben.

Folien	30°	34°	36°	38°	40°
F ₁	1277		625	814	285
	1458			7000	385
	2222	3255	1082	248	1127
	1722	1750			
F ₂	3593	3438	2083	6875	
	1901	1531	3333	3206	
	1462	1017	9999	8436	1512
F ₃	1179				482
	1230	814		257	458
	1505	4832	349	160	406
	1530	1000	2333		
F ₄	2555		1000	1375	1166
	2333	1999		749	1375
	2800	1799	7500	460	420
	1937	1166	2333		
F ₅	1149		919	1100	933
	1098	627		1023	924
	1694	1736	2200	7428	1171
	1906	700	4867		
F ₆	1539	603	538	188	514
	2777	688		153	
	1925	559	1615	582	3444
			105		
F ₇	1960		1339	1375	1009
	1508	808		1875	624
	2574	1205	2707	937	1057
	2039	874	1375		

Tab.11: Mittelwerte der Gesamtwärmewiderstände.

Folie	30°	34°	36°	38 °	40°
F ₁	1669	2502	853	2687	599
F ₂	2318	1995	5138	6172	1512
F ₃	1361	2215	1341	208	448
F ₄	2406	1654	3611	861	987
F ₅	1481	1021	2662	3183	1009
F ₆	2080	616	752	307	1979
F ₇	2020	962	1807	1395	896

Einzel-
~~Absolut~~werte: 105 - 9999
Mittelwerte: 208 - 5138

nen Wärmestromdichte sehr verschieden ausfielen. Infolge der schweren Zubereitungsbedingungen des Moorbreibades wurden nur 4 Versuche gemacht, die alle im Temperaturbereich von 37° bis 40°C lagen. Um stichfeste Ergebnisse zu erhalten, hätte es auch noch Versuche bedurft, die bei höheren und tieferen Temperaturen durchgeführt worden wären.

Die Rectaltemperaturen, die vor dem Moorbad unter konstanter Raumtemperatur von 28°C um die Mittagszeit gemessen wurden, lagen bei den einzelnen Versuchspersonen im Durchschnitt bei $37,0^{\circ}\text{C}$. Wurden nun die Versuchspersonen in das Moorbreibad von einer Temperatur von $40 - 37^{\circ}\text{C}$ versetzt, so lagen die Rectaltemperaturen nach 5 Minuten noch bei $37,0^{\circ}\text{C}$. Nach 10 Minuten waren sie bereits auf $37,5^{\circ}\text{C}$ angestiegen, bei der letzten Messung vor Beendigung des Bades nach 25 Minuten lagen sie zwischen $37,8^{\circ}$ und $37,95^{\circ}\text{C}$.

Ähnlich verhielten sich die Sublingualtemperaturen. Unter konstanter Raumtemperatur von 28°C lagen diese bei $36,7^{\circ}$ bis $36,9^{\circ}$. Im Moorbreibad waren sie bereits nach 5 Minuten auf $37,2^{\circ}\text{C}$ gestiegen, nach 10 Minuten lagen sie bei $37,85^{\circ}\text{C}$, am Ende des Bades, also nach 25 Minuten zeigten sie Werte von $37,9^{\circ}$ bis $38,2^{\circ}\text{C}$. Bei einem Vergleich der Rectal- und Sublingualtemperaturen fiel besonders auf, daß nach 25 Minuten die Sublingualtemperatur im Durchschnitt um $0,2 - 0,3^{\circ}$ höher lag als die Rectaltemperatur, außerdem daß die Sublingualtemperatur innerhalb der 25 Minuten um ca $1,4^{\circ}$, die Rectaltemperatur in der gleichen Zeit nur um $0,9^{\circ}$ gestiegen war.

Die Folientemperaturen, die mit Hilfe eines fortlaufend registrierenden Temperaturschreibers gemessen werden konnten lagen nahe der Temperatur, die der Moorbrei an der betreffenden Stelle aufwies.

Die Ausschläge, die uns die Folien lieferten, waren unmittelbar nach dem Eintauchen sehr groß, nahmen jedoch ständig gleichmäßig ab. Folie 7, die am Bauch befestigt war, konnte über ein Galvanometer während des ganzen Versuches mitgemessen werden. Abb. 13 zeigt eine Originalwasser- und Moorkurve. Legt man in diese Originalkurve zur Orientierung ein Koordinatensystem, so entspricht der Abszisse die Zeit in Minuten und der Ordinate der Ausschlag in mm. Besonders auffällig ist der gleichmäßige, ruhige

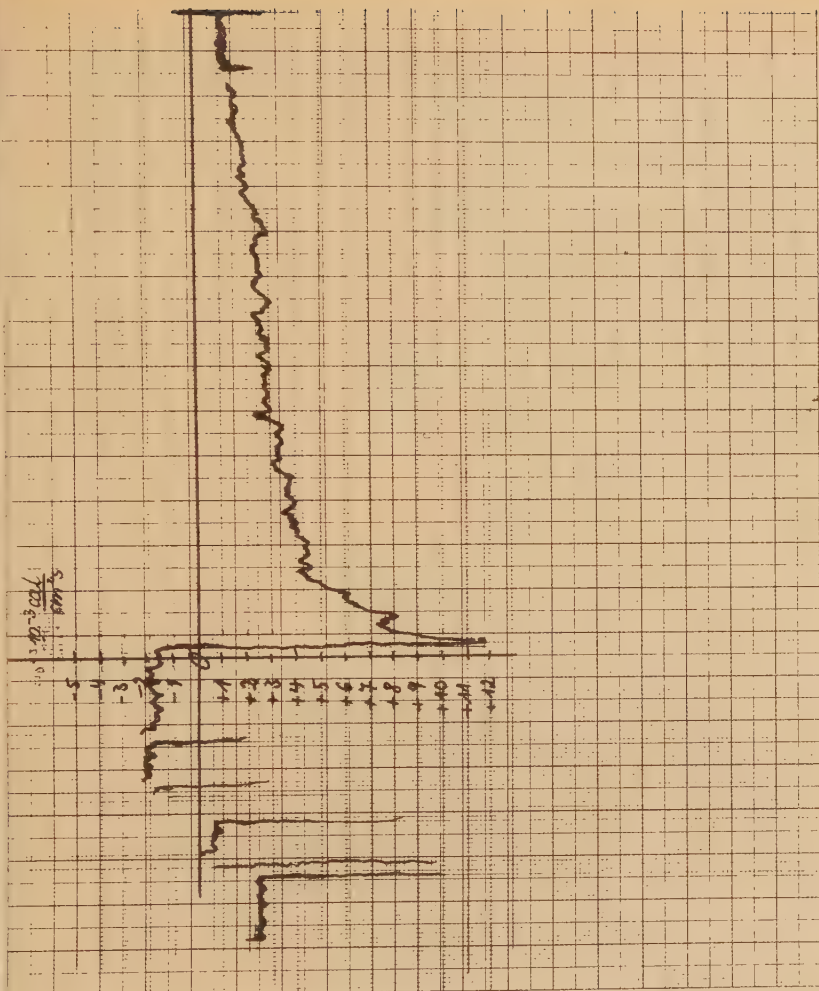


Abb. 13 Originalkurve
eines Wasserbaues

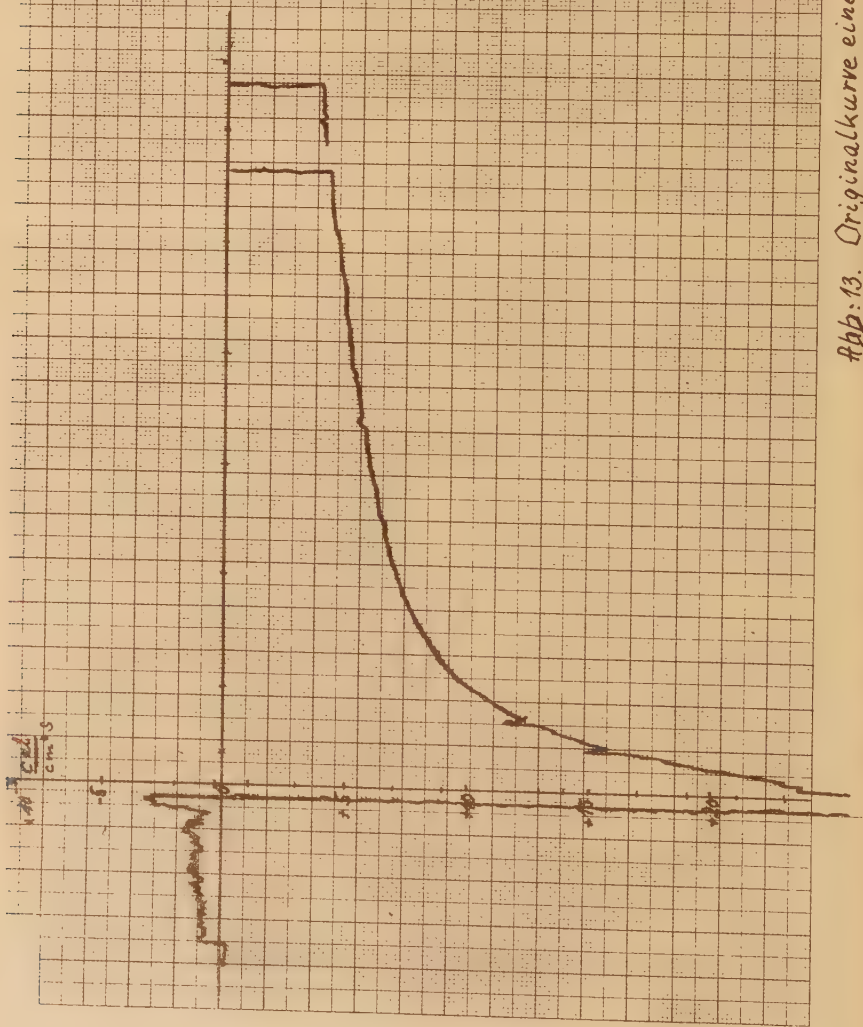
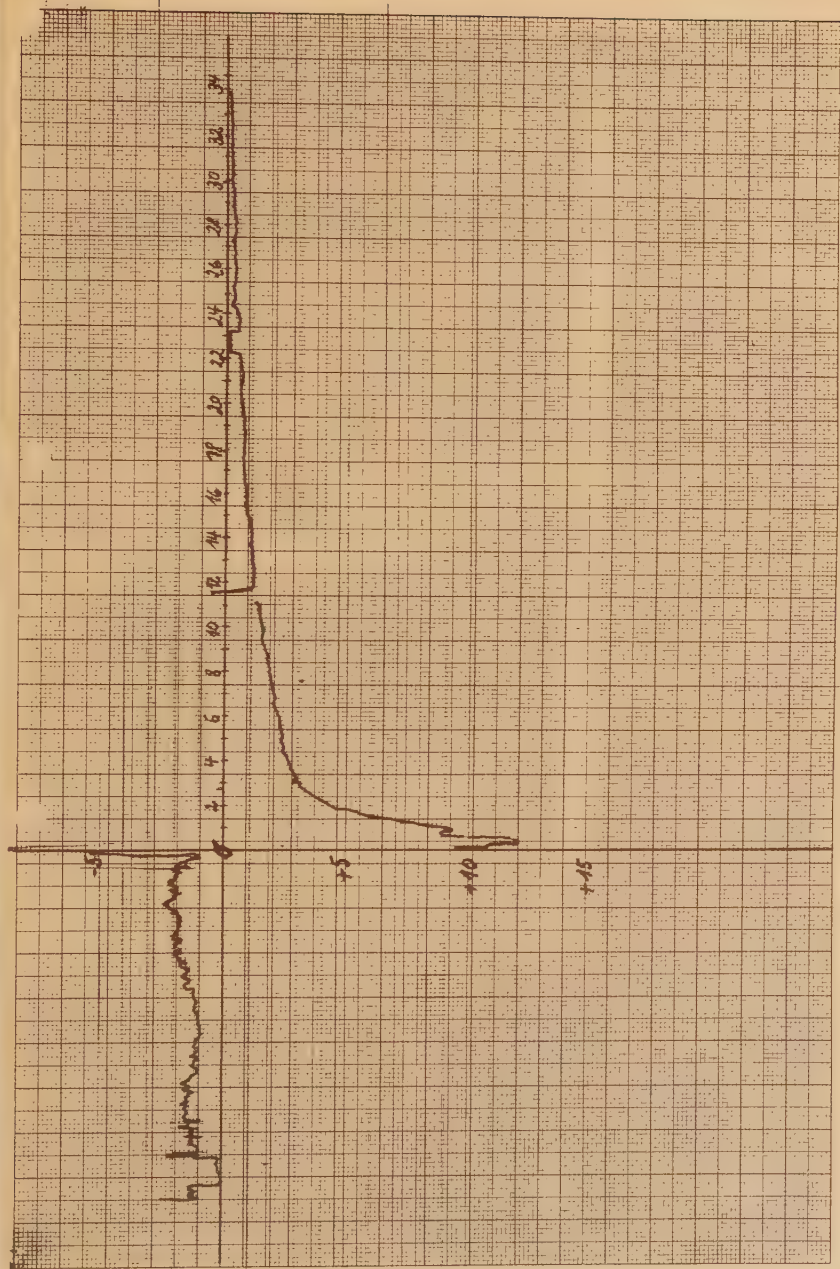


Abb. 13. Originalkurve eines
Moorbades



Originalkurve
eines Moorbaedes.

Verlauf der Moorkurve im Gegensatz zum Kurvenverlauf des Wasserbades. Dieser Unterschied ist ganz offensichtlich auf den geringeren Anteil des konvektiven Wärmetransportes beim Moorbad mit zurückzuführen.

0. Vergleich Moor - Wasserbad

Vor allem ist der Vergleich der Wärmestromdichte im Moorbreibad und im Wasserbad interessant. In Tab. 12 wurden zu diesem Zwecke die Folienausschläge der Folie 7 nach 5 und 15 Min. für Wasser- und Moorbäder zusammengestellt. Die zugehörigen Abbildungen 14 und 15 stellen die Beziehungen nach 5 und 15 Minuten eines Moor- und Wasserbades in einem Koordinatensystem dar, dessen Abszisse die Wasser- bzw. Moortemperatur, und dessen Ordinate die Wärmestromdichte in $\text{cal/cm}^2\text{s}$ zeigt.

Um einen Vergleich der Abhängigkeit des Wärmestromes pro cm^2 Körperfläche des Bademediums zwischen Wasser- und Moorbreibad möglich zu machen, wurde die für Wasser gültige Beziehung einer Geraden angenähert. Zwischen den Meßpunkten für das Moorbad wurde ebenfalls ausgeglichen. Die Beziehung wurde sowohl nach 5 Minuten Badezeit (Abb. 14) als auch nach 15 Minuten Badezeit (Abb. 15) ermittelt. Die Neigung der beiden Geraden ist sowohl nach 5 wie auch 15 Minuten für Wasser größer als für Moor, der Neigungsunterschied wird mit zunehmender Badezeit größer. Der Schnittpunkt der beiden Kurven liegt nach 5 Minuten Badezeit bei $34,8^\circ$ Wassertemperatur und $-0,6 \times 10^{-3}$ ($\text{cal/cm}^2\text{s}$) Wärmestromdichte, nach 15 Minuten bei $37,3^\circ$ Wassertemperatur und 0 cal Wärmestrom. Der Schnittpunkt fällt damit bei der 15 Minutenkurve mit dem Wärmestromumschlagspunkt für beide Kurven zusammen, denn der Wärmestrom ist an dieser Stelle Null. Bei der 5 Minutenkurve finden wir den Wärmestromnullpunkt, d.h. den Punkt, wo kein Wärmestrom fließt, für Wasser bei $35,4^\circ\text{C}$, für Moor bei $35,8^\circ\text{C}$.

Abb. 16 zeigt die Wärmestromdichte als Parameter in ein Koordinatensystem eingetragen, dessen Abszisse die Wassertemperatur und dessen Ordinate die Moortemperatur darstellt. Es ergeben sich dabei eine lineare Kurve für 5 und eine für 15 Minuten. Der Schnittpunkt der beiden Kurven ist bei $38,9^\circ$ Wassertemperatur und $41,6^\circ$ Moortemperatur gelegen. Die Neigung der 5 Minutenkurve ist kleiner als die der 15 Minutenkurve. Dabei ergibt sich z.B. bei der 5 Minutenkurve, daß ein Wärmestrom pro Flächeneinheit von -2×10^{-3} $\text{cal/cm}^2\text{s}$ dann fließt, wenn das Wasserbad $33,3^\circ$

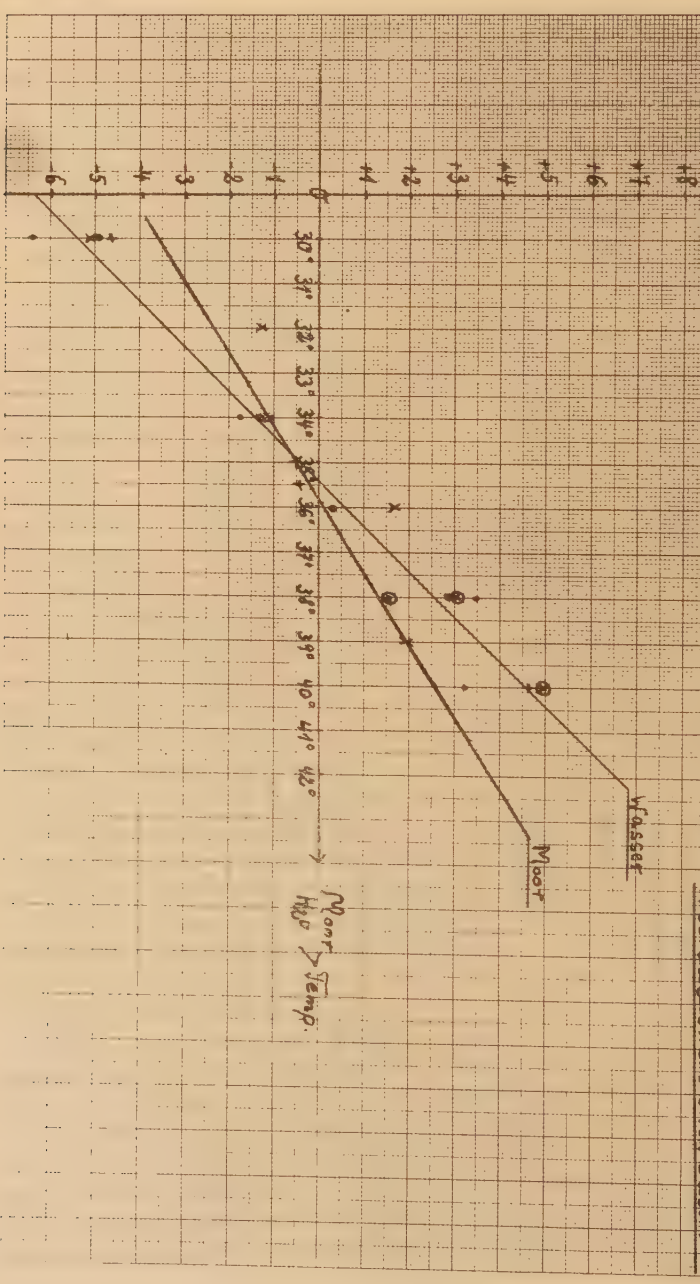
Tab. ¹²~~23~~: Vergleichswerte des Wasser- und Moorbades nach
5 und 15 Minuten Badezeit.

5 Minuten			15 Minuten		
1. Wasser			1. Wasser		
Bad	Ausschlag in mm	Wärmestromdichte $\times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \text{ s}$	Bad	Ausschlag in mm	Wärmestromdichte $\times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \text{ s}$
38°	+ 1,8	+ 2,85	38°	+ 0,4	+ 0,64
36°	+ 0,2	+ 0,32	36°	- 0,6	- 0,96
34°	- 0,8	- 1,28	34°	- 1,5	- 2,4
30°	- 3,1	- 4,95	30°	- 1,8	- 2,88
ten: 40°	+ 3,1	+ 4,95	40°	+ 1,3	+ 2,04
38°	+ 1,9	+ 3,04	38°	+ 0,3	+ 0,48
36°	+ 1,1	+ 1,76	36°	- 0,3	- 0,48
34°	- 0,7	- 1,12	34°	- 1,4	- 2,24
32°	- 0,8	- 1,28	32°	- 1,4	- 2,24
30°	- 3,2	- 5,10	30°	- 1,7	- 2,72
midt 40°	+ 2,0	+ 3,20			
38°	+ 2,2	+ 3,50	38°	+ 0,3	+ 0,48
34°	- 1,1	+ 1,76	34°	- 1,6	- 2,56
30°	- 4,0	- 6,40	30°	- 2,9	- 4,64
40°	+ 2,9	+ 4,64	40°	+ 1,3	+ 2,08
35,5°	- 0,3	- 0,48	35,5°	+ 0,7	- 1,12
30°	- 2,9	- 4,65	30°	- 2,1	- 3,20
2. Moor			2. Moor		
as: 38,5°	+ 0,97	+ 1,55	38,5°	+ 0,7	+ 1,12
en: 39°	+ 1,2	+ 1,92	39,5°	+ 0,5	+ 0,80
hb: 35°	- 0,4	- 0,64	34°	- 0,5	- 0,80
40°	+ 5,6	+ 8,95	40°	+ 3,2	+ 5,10

Faktor = Grad

Wärmestrom
in $10^3 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s}$

Abb. 11 Vergleichswerte des Wärmestroms
Moorbaudens nach 5144 Bodentief



Wüstensenkrom
 $\times 10^{-3} \text{ cal/cm}^3$ Tölle F. - Brauch

Abb. 15. Vergleichswerte d. Moor- und

Wasserbadas nach Sittin Ende-

zeit.

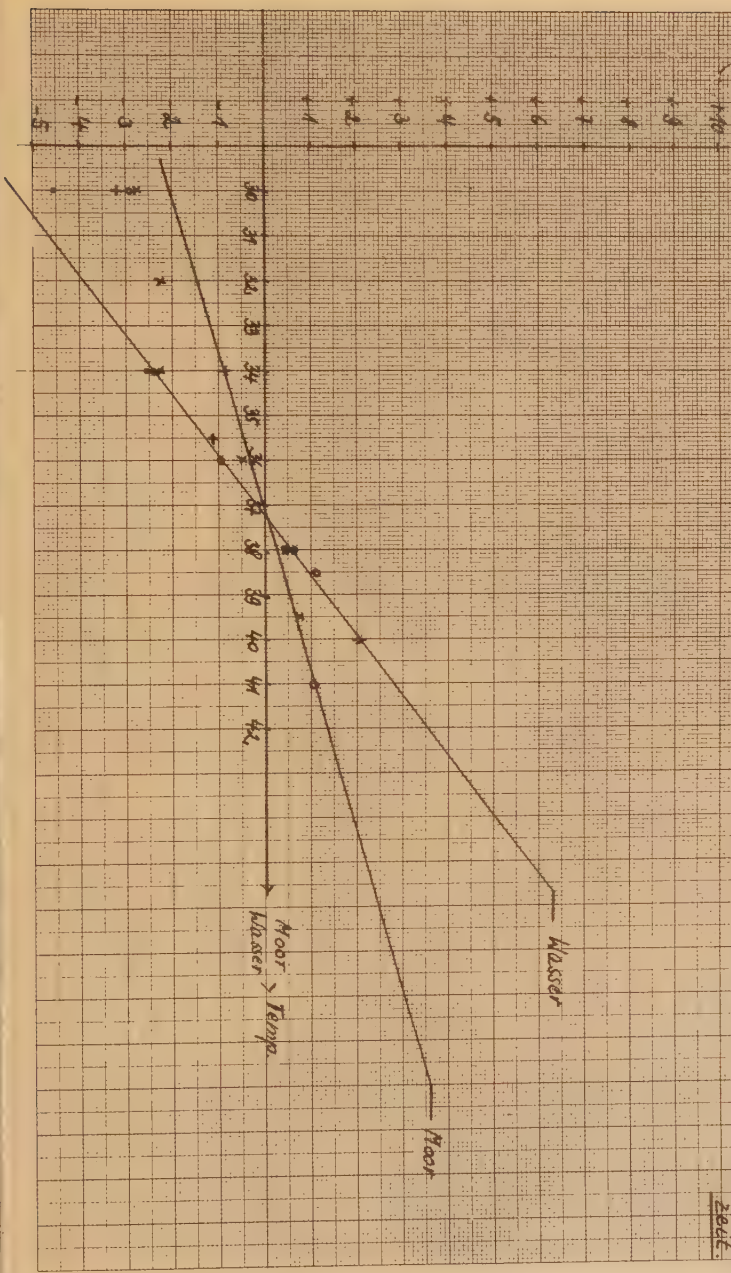
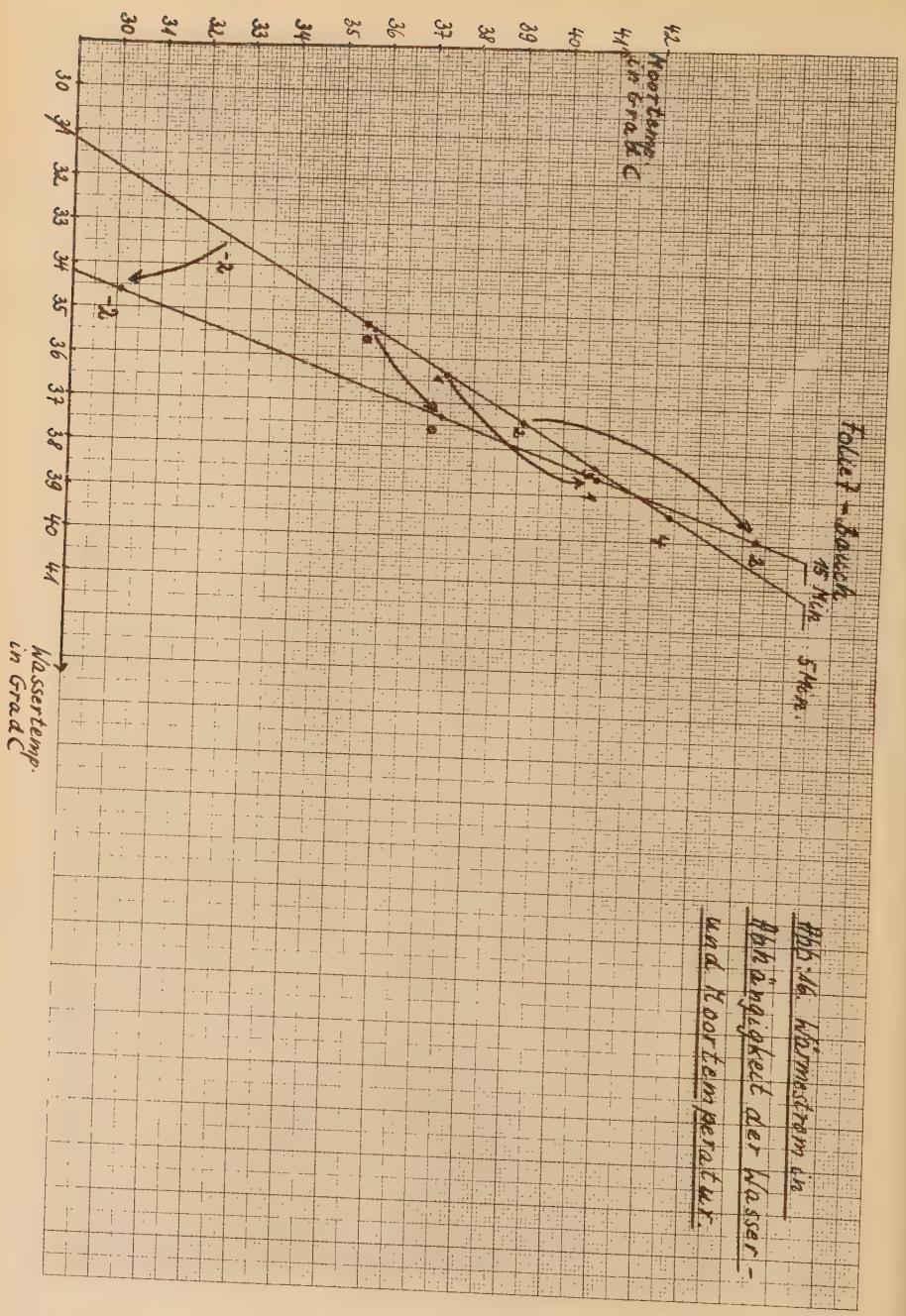


Abb. 16. Wärmestrom in
Abhängigkeit der Wasser-
und Koorientemperatur



und das Moorbad $32,5^{\circ}\text{C}$ aufweist. Die Wärmestromdichte ist Null, wenn das Moorbad $35,8^{\circ}\text{C}$ und das Wasserbad $35,4^{\circ}\text{C}$ mißt. Bei der 15 Minutenkurve ergibt sich eine Wärmestromdichte von $+ 1 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$, wenn die Wassertemperatur $38,6^{\circ}$ und die Moortemperatur $40,8^{\circ}$ beträgt. Haben Moor- und Wasserbad eine Temperatur von $37,3^{\circ}$, dann ist die Wärmestromdichte Null.

Aus diesen Beziehungen lassen sich auch die Größen des Wärmewiderstandes des Wasser- und Moorbades abschätzen. Sowohl nach 5 als auch 15 Minuten sind die Widerstände des Moorbades größer als im Wasserbad. Wären die Widerstände gleich, müßten beide Äquivalenzkurven in Abb. 16 unter einem Winkel von 45° geneigt sein.

Für die anderen Folien erfolgte selbstverständlich ebenfalls eine Gegenüberstellung der Wasser- und Moorbäder. Es ergaben sich dabei auch dieselben Beziehungen.

Eine solche Gegenüberstellung der Wasser- und Moorbäder ist insofern interessant, weil man sofort ablesen kann, wie groß bei verschiedenen Temperaturen der Wärmestrom pro Flächeneinheit im wässerigen und breiigen Medium ist. Umgekehrt läßt sich sofort aus dem fließenden Wärmestrom pro cm^2 Körperfläche die Temperatur des Bademediums bestimmen.

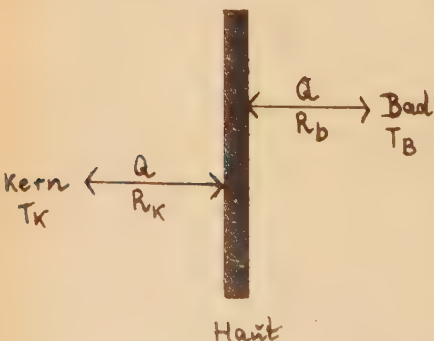
E. Besprechung der Versuchsergebnisse.

Bei unseren Versuchen wurden Messungen der Wärmestromdichte bei 4 Versuchspersonen in Wasserbädern von verschiedener Temperatur und in 4 Moorbädern durchgeführt. Dabei wurden Rectal-, Sublingual- und Hauttemperaturen gemessen und die Werte des Wärmedurchgangswiderstandes berechnet. Der Wert der Versuche lag vorallem darin, daß es zumersten Mal möglich war, experimentell während eines Bades zugleich an mehreren Körperstellen quantitative Wärmestrommessungen durchzuführen.

Die Temperaturen der Wasserbäder ließen sich 1. in solche aufteilen, die unterhalb des Wärmestromnullpunktes lagen 2. in solche, die in den Bereich des Wärmestromnullpunktes fielen und 3. in Temperaturen, die höher lagen, als der Wärmestromnullpunkt.

Der Temperaturbereich, in dem kein Wärmestrom zwischen Körper und Bademedium fließt, lag bei unseren Messungen zwischen 35° und 37°C .

Betrachten wir kurz das Verhalten des Körpers im Wasserbade! An Hand nachfolgender Abbildung seien die quantitativen Beziehungen besprochen, welche den Wärmeübergang aus dem Bad in den Körper beherrschen.



Durch die Haut werden zwei Medien mit verschiedenem thermophysikalischem Verhalten geschieden: das Körperinnere mit der Temperatur T_K und das Bademedium, in dem die Temperatur T_B herrscht. Die Innentemperatur des Körperkerns T_K läßt sich durch Messungen der Rectal- und Sublingualtemperaturen annähernd feststellen, wenn auch neuerdings zahlreiche Untersucher, vorallem Glaser, Grant,

Du Bois (19) die Brauchbarkeit der Rectal- und Sublingualtemperaturen als Maß der Innentemperatur des menschlichen Körpers stark kritisierten. Die Körperschale, zu der auch die Haut gehört, bildet die Zwischenschicht zwischen Körperkern und Bademedium.

Dabei stellt die Körperschale einen " poikilothermen Puffer " dar, wie sich Aschoff ausdrückt, denn sie kann gegenüber den wechselnden Temperaturen der Außenwelt mit wechselnder Schalentemperatur und somit stark wechselndem Wärmehalt reagieren. Durch die Schale strömt Wärme einmal konduktiv, gemäß der Wärmeleitfähigkeit des Gewebes, zum anderen konvektiv mittels des Kreislaufs vom Kern an die Oberfläche. Dabei liegen die Dinge im Organismus nicht so einfach, da die Dicke der Isolierschicht (=Schale) sowie ihre Abgrenzung gegen das innere Medium (=Kern) schwer zu fassen sind, und da innerhalb der Schale vorwiegend mit dem stark veränderlichen konvektiven Wärmetransport zu rechnen ist.

Der Wärmetransport im Badewasser erfolgt, wie wir wissen, nur zum geringen Teil durch Leitung, der überwiegende Anteil wird durch Konvektion übertragen." Damit kommen außer den rein thermischen Kennwerten des Bademediums noch dessen Dichte und ihre Temperaturabhängigkeit, die Zähigkeit und die geometrische Konfiguration ins Spiel " (9). Strömt nun die Wärme von der Stelle der unbeeinflussten Badtemperatur T_B zur Hautoberfläche, so muß sie den Wärmedurchgangswiderstand R_b überwinden. Nach dem Uebertritt in den Körper, wo sich die Bedingungen für den Wärmetransport ändern, muß die Wärme einen Widerstand R_k überwinden, will sie zur Schicht der konstanten Kerntemperatur T_K gelangen. Der Wärmedurchgangswiderstand R zwischen Badinnerem und Körperinnerem ist also $R = R_b + R_k$, die Wärmestromdichte Q , die aus dem Bademedium in den Körper fließt, hängt demnach von dem Produkt der Fläche und der Temperaturdifferenz $T_B - T_K$, dividiert durch den Widerstand ab:

$$Q = \frac{T_B - T_K}{R_b + R_k} \cdot F \quad (1)$$

Wenden wir nun das Vorhergesagte auf das Wasserbad von z.B. 30°C , also ein Bad unter der Temperatur des Wärmestromnullpunktes, an. Dazu sei noch kurz die Ausgangslage betrachtet. Unter konstanter Raumtemperatur von 28°C lagen die Körperkerntemperaturen, die uns durch Messung zugänglich waren, bei den einzelnen Versuchspersonen rectal zwischen $36,6^\circ$ und $37,1^\circ$, sublingual zwischen $36,5^\circ$ und $36,8^\circ\text{C}$. Diese Werte lassen sich ohne weiteres mit den Rectaltemperaturen vergleichen, die Hensel (19) im Mittel mit 37°C in einer Variationsbreite zwischen $36,2^\circ$ und $37,8^\circ\text{C}$ angibt. Die Streuung unserer Werte lag bei den einzelnen Versuchs-

personen zwischen $0,4^{\circ}$ und $0,7^{\circ}$. Diese Streuung zeigt uns an, daß der Körperkern zur gleichen Tageszeit von Tag zu Tag unter gleicher Außentemperatur bei den einzelnen Versuchspersonen verschieden hohe Innentemperatur aufweisen kann. Daß der Tagesgang der Rectaltemperaturen einen echten 24 stündigen Rhythmus darstellt, wird seit den Untersuchungen von Benedict und Snell nicht mehr bezweifelt.

Die mittlere integrale Hauttemperatur lag bei $34,48^{\circ}\text{C}$. Diese Werte lassen sich mit den von Wetzler und Neuroth (26) angegebenen Werten vergleichen. Die beiden Autoren geben eine integrale Hauttemperatur von $34,2^{\circ}\text{C}$ an. Die Abweichung von $0,248^{\circ}$ erklärt sich vielleicht daraus, daß wir auf die Haut die thermische Schutzschicht der Kunststoffolie von $100\ \mu$ legten.

Wurde nun der Körper in das Bad von $30,2^{\circ}\text{C}$ gebracht, so erhielten wir mit der Folie 7, die auf das Abdomen geklebt war, eine mittlere Wärmestromdichte von $-12 \times 10^{-3}\ \text{cal/cm}^2\text{s}$ unmittelbar nach dem Eintauchen, die stetig absank und nach 10 Minuten $-3,2 \times 10^{-3}\ \text{cal/cm}^2\text{s}$ ausmachte und weiterhin ziemlich konstant verlief. Die mittlere Folientemperatur für alle 6 Folien mit Ausnahme der Folie 6 (Gesicht), die nicht dem Bademedium ausgesetzt war, betrug $31,0^{\circ}\text{C}$; sie sank also beim Übergang Luft - Wasser um $3,48^{\circ}$. Die Rectaltemperatur war 37°C ; sie stieg um $0,2^{\circ}$ beim Übergang Luft - Wasser.

Dieser hohe vom Körper in das Bad gerichtete Wärmestrom erklärt sich zunächst als Eintaucheffekt im Sinne eines "initialen Kältestoßes", wie ihn Ipser (14) bezeichnet. Beim Eintritt in das Bad ist die Hautoberfläche der Versuchsperson anfangs der wirklichen Bademediumtemperatur ausgesetzt, bevor sich das Gleichgewicht in der Grenzschicht einstellt und die "effektive Wassertemperatur" zur Wirkung kommt. Unter "effektiver Temperatur" versteht man die Temperatur der Grenzschicht an der Hautoberfläche, die ausschließlich über die thermische Wirkung entscheidet.

Außerdem besitzt das wäßrige Bademedium eine hohe Wärmeleitfähigkeit und beschleunigt dadurch die Wärmeübertragung. Dabei gibt zunächst die Körperschale ihre gespeicherte Wärme ab. Durch diesen Wärmeverlust wird die Durchblutung der Schale reflektorisch gedrosselt. Vasokonstriktion verringert in der Schale den konvektiven Wärmetransport, der Wärmedurchgangswiderstand wird infolgedessen größer. Auf diese Weise erreicht der Organismus, daß

bei Sinken der Oberflächentemperatur die Wärmeverluste nicht proportional zur Temperaturdifferenz Kern - Oberfläche anwachsen, sondern unter Umständen gleichbleiben oder sogar nach Aschoff (5) kleiner werden. Aschoff erhält auch bei Teilkalorimetriemessungen einen ähnlichen Kurvenverlauf der Wärmestromdichte für einzelne Körperstellen z.B. Arm oder Hand, wie wir für den ganzen Körper. Eine logarithmische Auftragung ergab bei ihm keine einfache Funktion, sondern eine gekrümmte Kurve wie bei uns. Seine frühere Annahme, daß die Kurve im logarithmischen Maßstab aus zwei Geraden besteht, war nicht aufrecht zu erhalten. Aschoff nimmt an, daß es zu einer Superposition von mehreren Exponentialfaktoren kommt, die aus einer stufenweisen Beteiligung der Durchblutung resultieren. Jedoch diese Tatsache soll später besprochen sein. Wird der Wärmedurchgangswiderstand plötzlich geändert, so kommt es zu gegenläufigen Bewegungen von Kern- und Oberflächentemperatur (5). Es sinkt die Hauttemperatur; zugleich läßt der vergrößerte Widerstand die Kerntemperatur ansteigen. Diese gegenläufige Bewegung konnten auch wir beobachten. Ist die Speicherwärme der Schale abgegeben, so stellt sich allmählich ein neues Temperaturgefälle vom Kern über die Schale zum umgebenden Medium ein, das durch die dauernde Wärmeproduktion aufrecht erhalten wird. Da die Bildung des Temperaturgefälles allmählich vonstatten geht, entspricht dem jeweiligen Temperaturgefälle eine Größe des Widerstandes.

Die Wärmestromdichte, die zwischen Körper und Bademedium fließt, wird infolge der Veränderungen in der Schale kleiner, bis sie nach ca 10 Minuten annähernd stationär geworden ist. Während der ganzen Badezeit verlor der Körper Wärme an das Bademedium von $30,2^{\circ}\text{C}$. Deshalb kühlt das Bademedium in der Zeiteinheit mit Versuchsperson nicht so schnell ab, wie es ohne Versuchsperson der Fall wäre (Ipser 14).

Bei einem Bad, das über dem thermischen Nullpunkt liegt, konnten wir das thermische Verhalten des Körpers als genau umgekehrt beobachten. Die Wärmestromdichte war z.B. bei einem 40°C Bad anfangs stark positiv $+ 12 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$; sie fiel rasch ab; nach 10 Minuten hatte sie nur noch einen Wert von $+ 2,9 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$. Die mittlere Folientemperatur aller 6 im Bademedium befindlichen Folien lag bei $39,1^{\circ}\text{C}$, die Rectaltemperatur stieg langsam und betrug am Ende des Bades $37,9^{\circ}\text{C}$. Gegenüber der Aus-

gangslage war die Folientemperatur um $4,62^{\circ}$ und die Rectaltemperatur um 1°C angestiegen. Diese Beobachtung erklärt sich folgendermaßen: Beim Eintritt in das Bad finden wir zunächst den " initialen Wärmestoß ". Die Körperschale wird Wärme aufnehmen, ihre Gefäße dilatieren, die Schale selbst wird dünner. Dabei bewegen sich Oberflächentemperatur und Kerntemperatur zunächst gegenläufig und erst, nachdem die Körperschale Wärme gespeichert hat, geht die Wärme in den Körperkern und erwärmt ihn. Erst dann begegnet der Organismus dem Wärmeüberschuß einerseits durch Kleinerstellen seiner Wärmeproduktion, andererseits vor allem durch Mehrabgabe von Wärme seitens der dem Bade nicht ausgesetzten Teile wie Gesicht und Kopfhaut. Es stellt sich nun infolge der veränderten Temperaturlage allmählich ein neues Temperaturgefälle zwischen Kern und Schale ein, und der Wärmestrom wird stationär. Das dauert auch ca 10 Minuten. Das Bad kühlt erwartungsgemäß mit Versuchsperson zunächst stärker ab, weil die Versuchsperson Wärme aufnimmt. Nach einer gewissen Zeit wird diese Beziehung gegenläufig.

Handelt es sich um ein 36°C Bad, so geht der Körper von der einen Reaktionslage in die andere über, wie es aus dem Kurvenverlauf der Wärmestromdichte zu ersehen ist.

Der Wert der Folienmessung lag, wie bereits erwähnt, vor allem darin, daß die Wärmestromdichte gleichzeitig an verschiedenen Körperstellen während eines Bades gemessen werden konnte. Aus diesen Werten kann man nun Vergleiche der Wärmestromdichte an den einzelnen Körperstellen im Vollbad ziehen.

Die mittlere Wärmestromdichte war bei den Versuchen an den jeweiligen Körperstellen bei gleicher Badetemperatur verschieden groß.

Beziehen wir diese Beobachtung auf Gleichung (1)! Diese Gleichung besagt, daß die Wärmestromdichte Q vom Produkt der Körperoberfläche F und der Temperaturdifferenz Bademedium - Körperkern und der Summe des äußeren und inneren Wärmedurchgangswiderstandes abhängt. Weil wir Q messen konnten, ist es zweckmäßig, die Gleichung (1) nach dem Widerstand $R = R_b + R_k$ aufzulösen.

$$R = \frac{T_B - T_K}{Q} \cdot F \quad (2)$$

Da die Meßfläche und die im Zähler stehende Temperaturdifferenz im Wasserbad aber für alle Körperstellen gleich sind, so muß nach Gleichung (2) eine Änderung der Wärmestromdichte Q an den einzelnen Körperstellen auf einer Änderung des Widerstandes R beruhen. Wird Q größer, so wird R kleiner, oder wird Q kleiner, so wird der Widerstand R größer werden müssen.

Übertragen wir nun diese Überlegungen auf unsere Versuchsergebnisse, wie sie nach 10 bis 15 Minuten Badezeit gemessen wurden. Bei einer Badetemperatur von $36,0^{\circ}\text{C}$, also einer Temperatur, die in den Bereich des thermischen Nullpunktes fällt, war die Wärmestromdichte an den Extremitäten Hand und Fuß größer als am Stamm (Brust und Bauch), d.h. der Widerstand R mußte an den Extremitäten kleiner sein als am Stamm. Bei $36,0^{\circ}\text{C}$ Badetemperatur ergab sich für den Fuß (F_1) ein mittlerer Gesamtwiderstand von $853 \text{ (cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C/cal)}$ gegenüber $2662 \text{ (cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C/cal)}$ an der Brust gemessen. Das entspräche einem Verhältnis von 1 : 3. Bei 38°C Badetemperatur ist diese Beobachtung noch ausgeprägter. Hier liegt der Gesamtwiderstand der Hand z.B. bei $208 \text{ (cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C/cal)}$ gegenüber $1395 \text{ (cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C/cal)}$ am Bauch, das ergäbe sogar ein Verhältnis von 1 : 6,7. Bei 40°C Badetemperatur kann diese Feststellung ebenfalls gemacht werden.

Bei 34°C Badetemperatur muß der Widerstand R in den Extremitäten (Hand und Fuß) größer sein als im Körperstamm, da die Wärmestromdichte für die Extremitäten kleiner ist als für Brust und Bauch. Der Widerstand der Extremitäten lag mit 2502 (Fuß) und 2215 (Hand) gegenüber 1021 (Brust) und 962 (Bauch) $\text{(cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C/cal)}$ doppelt so hoch.

Bei 30°C Badetemperatur war das Verhalten Körperstamm zu Extremität nach 10 Minuten Badezeit noch nicht so deutlich ausgeprägt. Da eine Drosselung der Durchblutung eintreten müßte, wäre auch hier zu erwarten, daß die Wärmestromdichte Q an den Extremitäten kleiner ist als am Körperstamm. Diese Feststellung ist aber infolge der großen Streuung der Meßpunkte nicht zu erkennen. Wir gingen von der Vorstellung aus, daß bei längerer Einwirkung des Bades die Beziehung deutlicher sein müßte. Aus diesem Grunde wurde ein Bad von 30°C durchgeführt, das 60 Minuten dauerte. Der Wärmestromkurvenverlauf war an allen Körperstellen nach 10 Minuten ziemlich ruhig. Am Fuß sank die Wärmestromdichte von der 10. bis 43. Bademinute um $2,7 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$ auf $-1,5 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$ ab, an der Hand ebenfalls um den gleichen Betrag im Verlauf von 25 Bademinuten. An der Brust nahm die Wärmestromdichte in der gleichen Zeit nur um $1,04 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$ ab auf einen Wert von $-2,35 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$, am Bauch sank sie sogar nur um $0,15 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$ auf einen Wert von $-3,68 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$. $T_B - T_K$ erfuhren nur geringfügige Änderungen.

Bei dem Dauerbad hat sich unsere Erwartung bestätigt. Es ergab sich ein kleinerer Wärmestrom pro cm^2 Körperfläche für die Extremitäten als für den Körperstamm. Wir sahen überdies aus dem Versuch, daß die Wärmestromdichte bei einem Bad von 30°C im Verlauf des Bades an den Extremitäten steiler abfiel als am Stamm. Das Widerstandsverhältnis zwischen Extremitäten und Stamm wurde fortlaufend größer. Zu den Extremitäten zählten hierbei nur Hand und Fuß, während Oberarm und Oberschenkel in ihren Angaben der Wärmestromdichte zum Stamm gehörten.

Unsere integral berechneten Wärmeströme stimmen gut mit Burton und Bazett (7) überein, die 1936 ähnliche Versuche im Wasserbade von 30°C mit einem Badekalorimeter durchführten.

Die Wärmestromnullpunkte fallen ebenfalls vom Körperstamm (37° für F_5 =Brust und F_7 =Bauch) zu den Extremitäten ab ($35,5^\circ$ für F_1 =Fuß; $35,3^\circ$ für F_3 =Hand). Die Neigung der Kurven liegt dementsprechend für F_3 (Hand) mit 59° und F_1 (Fuß) mit 56° um 19° bzw. 16° höher als die für Brust und Bauch, die 40° mißt.

Aus diesen Werten kann man schließen, daß die gegenseitigen Beziehungen mit der Durchblutung zusammenhängen müssen. Bei Badetemperaturen unterhalb des Wärmestromnullpunktes ($35^\circ - 37^\circ$) muß die Durchblutung der Extremitäten viel kleiner sein als die des ganzen Körpers, somit ist auch deren Wärmeabgabe kleiner als die des Körperstammes. Bei stark positiver Wärmebilanz ist die Durchblutung der Extremitäten besonders ihrer gipfelnden Teile gegenüber der Gesamtoberfläche erhöht, ihre Wärmeabgabe liegt weit über der des übrigen Körpers.

Diese wichtigen Zusammenhänge zwischen Kern und Schale hat Bergmann in einer ersten Arbeit schon 1845 erkannt. Man war sich über die temperaturregulatorische Bedeutung dieses Vorganges durchaus klar, ohne jedoch mit Zahlen quantitative Angaben machen zu können. Bergmann hat damals schon ausdrücklich auf die Sonderstellung der Extremitäten verwiesen, wenn er sagt: " So wenig alle Oberflächengebiete gleich reizempfindlich sind, so wenig sind alle Hautpartien zur Vasokonstriktion befähigt ". Aschoff (5) nennt diese starke Veränderlichkeit der Extremitätendurchblutung eine " Überkompensation ", da auf diese Weise der Organismus erreicht, daß bei Sinken der Oberflächentemperatur die Wärmeverluste nicht proportional zur Temperaturdifferenz Kern - Oberfläche anwachsen.

In welchem Ausmaß Vasokonstriktion und Vasodilatation die Wärmeleitfähigkeit der Schale beeinflussen, hängt von manchen individuellen Faktoren ab. Pfleiderer und Büttner (6) geben die Schwankungen der Leitfähigkeit in den Grenzen von 1 : 5 an, was auch von Brück und Hensel (19) bestätigt wird. Aschoffs (5) Messungen zeigten sogar, daß an der Hand Wärmeleitfähigkeitsänderungen im Verhältnis 1 : 30, an den Fingern sogar 1 : 60 vorkommen.

Die Differenzen von Drexel, Pfleiderer, Brück, Büttner und Hensel einerseits und Aschoff andererseits beruhen auf verschiedenen Definitionen des Wärmedurchgangs. Die ersteren Autoren wählen als Innentemperatur entweder die Temperatur 1 cm unter der Körperoberfläche oder die sog. "effektive Gewebetemperatur", d.h. die Temperatur in dem vom Kalorimeter erfaßten Bereich während Aschoff die Innentemperatur = Kerntemperatur konstant mit 37°C festsetzt.

Das Gesicht verblieb stets unter konstanter Raumtemperatur von 28°C , es nahm jedoch aktiv an der Wärmeabgabe teil, wie es uns die Wärmestromkurve anzeigt. Dabei verhielt sich das Gesicht im Verlauf der Bäder von verschiedener Temperatur verschieden. Während die Badetemperatur für den badenden Körper von $30,2^{\circ}\text{C}$ auf $40,0^{\circ}\text{C}$, also um $9,8^{\circ}\text{C}$ anstieg, nahm die Wärmestromdichte im Verlauf dieser Temperatursteigerung von $-3,5$ auf $-8,4 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$, also um $4,9 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$ zu. Dabei ist vor allem interessant, daß der Anstieg des Wärmestromes pro cm^2 Fläche im Gesicht bei den Bädern von $30,2^{\circ}$ und $34,3^{\circ}$ nur $-0,1 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$ ausmachte. Bei diesen Badetemperaturen gibt der ganze Körper Wärme an das Bad ab, die Wärmestromdichte nimmt im Gesicht nur unmerklich zu. Erst wenn der Körper Bädern von 36° , 38° und 40°C ausgesetzt ist, gibt er über das Gesicht vermehrt Wärme ab. Diese Abgabe der Wärme erfolgt vor allem auch auf dem Wege der Verdunstung. Wir sahen, daß die Versuchspersonen bei Bädern von 38° und 40°C nach 10 bis 15 Minuten stark schwitzten. Dadurch wurde wiederum eine Kühlung für die Gesichtshaut erreicht und die Hauttemperaturen, die bei Bädern von $30,2^{\circ}\text{C}$ mit $35,3^{\circ}\text{C}$, bei $34,3^{\circ}\text{C}$ mit 36°C im Gesicht gemessen wurden, sanken bei 40°C Badetemperatur auf $35,6^{\circ}\text{C}$ ab. Die Körperkerntemperaturen lagen bei $30,2^{\circ}\text{C}$ und $34,3^{\circ}\text{C}$ Badetemperatur bei 37°C , bei $38,2^{\circ}\text{C}$ war sie $37,3^{\circ}\text{C}$ und

bei $40,0^{\circ} 37,9^{\circ}\text{C}$. Entsprechend der sich ergebenden Wärmewiderstände sieht man, daß der Wärmedurchgang im Gesicht stark gedrosselt wird, wenn der übrige Körper einem kühleren Bademedium ausgesetzt ist. Bei höheren Badetemperaturen (38° und 40°C) jedoch gibt der Körper über das Gesicht verstärkt Wärme ab.

Diskutieren wir anschließend das Verhalten der Wärmewiderstände! Nach unserer Erwartung mußten die Werte des Wärmedurchgangswiderstandes R_k zwischen Haut und Körperinnerem je nach der untersuchten Körperstelle, vor allem aber je nach der augenblicklichen Durchblutung der Haut und der darunterliegenden Schichten schwanken. Wir erhielten dementsprechend Einzelwerte zwischen 0 und $4500 \text{ (cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C/cal)}$ und Mittelwerte für die einzelnen Körperstellen zwischen 80 und $3442 \text{ (cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C/cal)}$. Bei gleichen Umgebungsbedingungen finden sich zwischen den einzelnen Versuchspersonen Widerstandsunterschiede, die im Verhältnis 1 : 2 bis 1 : 4 liegen. Die Mittelwerte für den ganzen Körper ohne F_6 (Gesicht), die nicht dem Bademedium ausgesetzt war, ergaben Werte zwischen 522 und $1739 \text{ (cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C/cal)}$.

Wirkt ein Wärmestrom Q auf die Körperoberfläche, so dringt derselbe in seiner ganzen Stärke nur dann bis zum Körperkern durch, wenn in den dazwischenliegenden Schichten überhaupt keine Aufwärmungsvorgänge stattfinden. Das ist aber meistens nicht der Fall. Befindet sich die dazwischenliegende Schale in Erwärmung, so wird ein Teil des Wärmestromes zu dieser Erwärmung benutzt. Dieser Teil wirkt also nicht auf den Körperkern, und kommt vom gesamteinwirkenden Wärmestrom in Abzug. Gibt die dazwischenliegende Schale Wärme ab, wie es auch der Fall sein kann, so wirkt noch ein zusätzlicher Wärmestrom auf den Kern, der anfangswirkende wird noch verstärkt. Daraus erklärt sich einerseits die Höhe der Widerstände, andererseits auch die Tatsache, daß sie Null bzw. negativ sind. Mittelt man die Widerstände, wie wir es machten, so gleicht sich das aus und man kann die Werte der Widerstände mehr oder weniger als Absolutwerte betrachten.

Mit unseren Widerstandswerten stimmen wir gut mit den Angaben von Dirnagl (9) überein, der die Übergangswiderstände zwischen Körperkern und Körperoberfläche mit 200 bis 2000 $\text{(cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C/cal)}$ angibt. Ipsier (14) gibt den Widerstand des baden-

den Körpers in einem Wasserbad von 39°C mit $303 \text{ cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C}/\text{cal}$, für 40°C Badetemperatur mit $305 \text{ cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C}/\text{cal}$ an. Da es sich bei Ipsen um Einzelwerte handelt, ist ein Vergleich besonders schwierig. Stellt man ihn trotzdem an, so liegen unsere Werte 55 % höher. Es ist noch zu erwähnen, daß Ipsen seine Wärmestromwerte mit Hilfe eines Strömungskalorimeters ermittelte. Die Berechnung der inneren und äußeren Wärmedurchgangswiderstände nahm er nach der gleichen Formel vor wie wir.

Eine genaue Angabe des äußeren Wärmedurchgangswiderstandes R_b d.h. des Widerstandes zwischen Bademedium und Hautoberfläche, ist äußerst schwierig. Die Wärmeübertragung erfolgt auf dieser Strecke überwiegend durch Konvektion, und die sich ausbildende Wasserzirkulation hängt von geometrischen Verhältnissen ab (9). Außerdem muß man durch gelegentliche Bewegungen des Badenden noch mit zusätzlicher Konvektion rechnen. Dementsprechend schwankten die gemessenen Einzelwerte von R_b bei uns zwischen 0 und 5000 ($\text{cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C}/\text{cal}$), die Mittelwerte zwischen 86 und 3219 ($\text{cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C}/\text{cal}$). Die Werte, die über den ganzen Körper mit Ausnahme des Gesichtes gemittelt wurden, lagen zwischen 218 und 1498 ($\text{cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C}/\text{cal}$). Beim Vergleich dieser Zahlen mit denen, die Dirnagl (9) für R_b mit 20 bis 100 $\text{cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C}/\text{cal}$ und Ipsen (14) bei 39°C Badetemperatur mit 121 $\text{cm}^2\text{s}^{\circ}\text{C}/\text{cal}$ als Einzelwert angibt, sieht man, daß unsere Werte höher liegen. Einerseits hängt die große Schwankungsbreite an den oben angeführten Meßschwierigkeiten, andererseits scheinen die von den beiden Autoren angegebenen Werte sich auf Einzelmessungen bzw. auf theoretische Überlegungen, die sich von der Wärmeleitzahl des Wassers ableiten, zu beziehen und deshalb so gering ausgefallen zu sein. Abgesehen von den großen Schwankungen ist jedoch entscheidend, daß der innere Wärmewiderstand des menschlichen Körpers im Bade höher ist als derjenige zwischen Wasserbad und Körper.

Der integrale Wärmestrom wurde von uns aus dem Grunde bestimmt, damit man sofort sieht, wie groß der Wärmestrom bei verschiedenen Temperaturen, bezogen auf die gesamte Körperoberfläche, ist. Mit diesen Werten kann man außerdem versuchen, eine Wärmebilanz für die jeweilige Badetemperatur nach 10 bis 15 Minuten Badezeit aufzustellen. Vom balneologischen Gesichtspunkt sind wir an dieser Aufstellung interessiert.

Die Wärmebilanz des menschlichen Körpers wird am

besten durch folgende Gleichung charakterisiert;

$$M + A = S + E \quad (3),$$

denn der Wärmehaushalt des Körpers im Bademedium ist nur dann abgeglichen, wenn die im Körper erzeugte Wärme M und die in den Körper aus dem Bademedium aufgenommene Wärme A gleich sind der im Organismus gespeicherten Wärme S und der nach außen abgegebenen Wärme E.

In unserem Falle wollen wir vor allem die in den Körper aufgenommene Wärme A bestimmen. Da wir aber die Wärmestromdichte Q direkt messen konnten, sind wir in zweiter Linie an der im Organismus gespeicherten Wärmemenge S interessiert. Aus Gleichung (3) ergibt sich für die im Organismus gespeicherte Wärme S:

$$S = A + M - E \quad (4).$$

Wir werden nun versuchen, die Größen auf der rechten Seite der Gleichung (4) z.B. für ein Wasserbad von 38°C festzustellen.

Bestimmung der aufgenommenen Wärme A.

Bei 38°C Badetemperatur fanden wir ein gewogenes Mittel der Wärmestromdichte von $+ 1,5 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \text{ s}$. Die Gesamtkörperoberfläche der Versuchspersonen war im Mittel $1,77 \text{ m}^2$. Da der Kopf dem Bademedium nicht ausgesetzt war, so entspräche die wirklich gebadete Körperoberfläche ca $1,55 \text{ m}^2 = 15500 \text{ cm}^2$. Das gewogene Mittel der Wärmestromdichte, multipliziert mit der gebadeten Fläche, ergibt die Wärmeaufnahme pro Gesamtfläche und Sekunde.

$$+ 1,5 \times 10^{-3} \times 15,5 \times 10^3 = 23,25 \text{ cal/sec.}$$

Die aufgenommene Wärme A beträgt also $23,25 \text{ cal/sec} = 1395 \text{ cal/min} = 1,4 \text{ kcal/min}$. Bei unserer Badezeit von rund 15 Minuten betrug die in den Körper aufgenommene Wärme 21 kcal.

Die im Körper erzeugte Wärme M richtet sich nach dem Energieumsatz, der in 24 Stunden $1700 \text{ kcal} = 70 \text{ kcal/std} = 17,5 \text{ kcal/15 min}$ (nach Rein) ausmacht. Unsere Versuchspersonen befanden sich zwar nicht unter strengen Grundumsatzbedingungen, jedoch glauben wir, daß sie infolge ihrer horizontalen ruhigen Lagerung und keiner Nahrungsaufnahme nicht weit davon entfernt waren.

Die vom Körper abgegebene Wärme E beträgt für die Atemwege (nach Ipsen) ca $4 \text{ kcal/std} = 1 \text{ kcal/15min}$. Zur Erwärmung der eingeatmeten Luft bei einer Raumtemperatur von 28°C

und einem Atemvolumen von 10 - 20 Litern rechnet Ipsier $0,3 \text{ kcal/std} = 0,085 \text{ kcal/15 min.}$ Die von der Atmung abgegebene Wärme würde dann in 15 Minuten 1,085 kcal betragen.

Für die wärmeregulatorische Leistung der Kopfhaut gibt Ipsier bei $10\text{-}15 \text{ dm}^2$ Kühlungsfläche einen Wert von $48,3 - 72,4 \text{ kcal/std} = 12,0 - 18,1 \text{ kcal/15 min an.}$ Wir nahmen für die wärmeregulatorische Leistung der Kopfhaut einen Mittelwert von 15 kcal/15 min.

Die gespeicherte Wärme wäre also, wenn wir sie berechnen wollen, gemäß Gleichung (4) bei einem Bad von 38°C

$$S = 21 + 17,5 - 16,1 = 22,4 \text{ kcal.}$$

Damit ist sie in diesem Falle ungefähr der vom Körper aufgenommenen Wärme gleich.

Bei einem Bad von 34°C , also einem hypothermischen Bad, entspräche die an das Bad durch die Körperoberfläche verlorene Wärme $2,23 \text{ kcal/min} = 33,45 \text{ kcal/15 min.}$ Rechnet man dazu noch die durch Atmung und Kopfhaut verlorengelende Wärme, so würde der Körper in 15 Minuten $40,53 \text{ kcal}$ an das Bad verlieren. Die Wärmeproduktion des Körpers in 15 Minuten ist aber nur $17,5 \text{ kcal.}$ So müßte also der Körper ungefähr 42 Minuten Wärme produzieren, will er den Wärmeentzug durch das Bad von 34°C allein aus seiner Wärmeproduktion decken. Bei einem Bad von 30°C ist die an das Bad durch die Körperoberfläche verlorene Wärme $55,5 \text{ kcal/15 min.}$ Hier müßte sogar der Körper, um den Wärmeentzug zu decken, 61 Minuten Wärme produzieren.

In Wirklichkeit ist die aufgenommene bzw. abgegebene Wärmemenge noch größer, wenn man den initialen Wärmestoß bei der Berechnung mit in Betracht zieht.

Man kann aus den Werten erkennen, daß der menschliche Organismus beim Senken der Badtemperatur beträchtliche Wärmemengen verliert, ohne daß sich die Rectaltemperatur merklich ändert. Der gesunde Mensch verträgt, je nach seiner eigenen Empfindlichkeit, Zustände, die mit Wärmemangel oder Wärmeüberschuß verbunden sind, ohne deutliche Beschwerden. Einige Untersuchungen von Cramer und Gollwitzer Maier (29) beschäftigen sich grundsätzlich mit thermischen Bäderwirkungen auf Herz, Kreislauf und Umsatz. Für die hier angestellten quantitativen Betrachtungen interessierten sich dabei die Autoren nicht.

Am Rande seien auch noch die Ergebnisse diskutiert, die bei den 4 orientierenden Versuchen im Moorbreibad von uns gefunden wurden. Wir machten vor allem einige allgemeine Beobachtungen über die Wärmewirkung im Freibad, die an dieser Stelle besprochen werden sollen. Zunächst fiel uns das bessere Wärmehaltungsvermögen des Moores auf, denn der auf eine Temperatur von $38 - 40^{\circ}\text{C}$ gebrachte Moorbrei kühlte sehr langsam ab. Vergleichende Versuche mit Armbädern, die in Wasser und Moor ausgeführt wurden, bestätigten uns diese Beobachtungen. Während z.B. bei einer Raumtemperatur von 28°C das Moor in 19 Minuten von $40,5^{\circ}\text{C}$ auf $39,8^{\circ}\text{C}$ abkühlte, war die Wassertemperatur in der gleichen Zeit vom gleichen Ausgangswert bereits auf $38,9^{\circ}\text{C}$ gesunken. Es kommt noch hinzu, daß infolge der verschiedenen Widerstandsverhältnisse im wäßrigen und breiigen Medium die Wärme im Wasserbade schneller in den Körper dringt als im Moorbade und deshalb auch das Wasserbad schneller abkühlen muß.

Zum anderen bemerkten wir, daß die Rectaltemperaturen im Moor langsam, aber ständig anstiegen. Ähnlich verhielten sich die Sublingualtemperaturen, die mit $1,4^{\circ}$ innerhalb von 25 Minuten um $0,5^{\circ}$ höher gestiegen waren als die Rectaltemperaturen in der gleichen Zeit.

Bei einer Gegenüberstellung der Rectal- und Sublingualtemperaturen im Wasser- und Moorbade ergibt sich, daß die Rectaltemperaturen im Moorbade langsamer, aber stetiger ansteigen als es im Wasserbad der Fall ist; außerdem lagen die Sublingualtemperaturen im Moorbade nach 25 Minuten Badezeit im Durchschnitt um $0,2 - 0,3^{\circ}$ höher als die Rectaltemperaturen; im Wasserbad lag die Sublingualtemperaturkurve bei gleicher Umgebungstemperatur und gleicher Badezeit $0,3^{\circ}$ unter der Kurve der Rectaltemperaturen. Die Erklärung liegt wohl darin, daß der äußerst langsame Temperaturengleich im Moorbade es ermöglicht, dem Organismus große Wärmemengen sehr langsam und schonend zuzuführen.

Infolge der hohen Zähigkeit des Moores fehlt die Wärmekonvektion praktisch völlig, und die weitere Nachlieferung von Wärme erfolgt ausschließlich durch die Leitung des Moorbreies und verläuft daher außerordentlich langsam. Diese Tatsache fanden wir an dem äußerst ruhigen Kurvenverlauf des Moorbades bestätigt. Als Folge davon nimmt der Wärmedurchgangswiderstand von Beginn des Bades ständig zu, da das Temperaturgefälle zwischen

Bad und Körperoberfläche immer flacher wird und sich mehr und mehr verteilt. Wie wir es nicht anders erwarteten, liegt der äußere Wärmewiderstand im Moorbad höher als im Wasserbad. Hierdurch erklärt sich auch die therapeutisch wichtige Tatsache, daß der Indifferenzpunkt des Moorbades höher liegt als der des Wasserbades. Mit Hilfe unserer Folien bestimmten wir auch im Moorbad quantitativ die Wärmestromdichte und versuchten sie mit der Wärmestromdichte von Wasserbädern zu vergleichen. Es konnte sich jedoch bei dieser Gegenüberstellung nur um eine tastende Voruntersuchung handeln, da wir nur über wenige Moorversuche verfügten und uns vor allem die Versuche unter 37° und über 42°C fehlten. Die Tatsache, daß ein Moorbad von 41°C ungefähr ebenso warm empfunden wird wie ein Wasserbad von 38° bis $38,5^{\circ}\text{C}$ fanden wir durch unsere Wärmestromwerte bestätigt. Nach 5 Minuten Badezeit nimmt die Versuchsperson am Bauch z.B. bei einer Moortemperatur von 41°C einen Wärmestrom pro cm^2 Körperfläche von $+ 3,2 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{s}$ auf. Den gleichen Wärmestrom pro cm^2 Körperfläche erhielten wir nach 5 Minuten Badezeit in einem Wasserbad von $38,5^{\circ}\text{C}$. Für die Behandlung bedeutet die Reizlosigkeit höherer Temperaturen beim Breibad die Möglichkeit einer anhaltenden und sehr tiefgehenden Durchwärmung des Körpers.

Hinsichtlich der durchschnittlichen Wärmebilanz ist mit Wasserbädern die gleiche thermische Wirkung zu erzielen wie mit Breibädern, wenn man sie entsprechend abstimmt. Die Verteilung des Wärmestromes ist aber bei Breibädern viel gleichmäßiger ausgebildet, da der Einfluß des Wärmeübergangswiderstandes der Haut im Verhältnis zu dem des Moorbades auf den Wärmestrom relativ klein ist. Fordert man die Versuchsperson auf, sich im Bade zu bewegen, so wird im Breibade der Wärmestrom stoßweise erhöht, wogegen im Wasserbade die Bewegung von geringerem Einfluß bleibt.

Im ganzen gesehen erfolgt im Breibade eine gleichmäßigere, vorwiegend durch Leitung bedingte Wärmezufuhr. Der Wärmetransport erfolgt nur auf dem Wege der weniger wirksamen Leitung, denn die Konvektion, die durch Temperaturunterschiede zustande kommt, ist praktisch unterbunden. Der Wärmedurchgangswiderstand ist daher größer als im Wasserbad. Unsere Beobachtungen

konnten nicht alle Eigenarten im thermischen Verhalten des Breibades zutage fördern. Wir müssen uns jedoch der Auffassung Dirnagls (9) anschließen, daß es nicht ohne weiteres möglich ist, Wasserbäder so zu gestalten, daß sie in ihren thermischen Eigenschaften Breibäder ersetzen können.

Mit den quantitativen Wärmestrommessungen im Bade wurde versucht, einigen grundlegenden, physiologischen und physikalischen Fragen der Balneotherapie näherzukommen. Diese Probleme werden das Ziel weiterer Versuche sein müssen, da ihre Lösung dem ganzen Bereich der inneren Medizin von großem Nutzen sein kann.

F. Zusammenfassung.

1. Unter konstanter Raumtemperatur von 28°C wurden Wasservollbäder von $30^{\circ} - 40^{\circ}\text{C}$ in Temperaturstufen von 2°C und Moorbäder in einem Temperaturbereich von $37^{\circ} - 40^{\circ}\text{C}$ durchgeführt. Vor und während des Bades wurde mit Hilfe von 7 Meßfolien die Wärmestromdichte an verschiedenen Körperstellen gemessen und gleichzeitig Haut-, Rectal- und Sublingualtemperaturen bestimmt.
2. Infolge der aufgehobenen Verdunstung und Strahlung im Bade sind die thermoregulatorischen Vorgänge vereinfacht. Die thermoregulatorische Wirkung der Atemwege im Bade ist gering.
3. Nach dem Eintritt in das Bad treten zuerst thermische Verschiebungsvorgänge auf, die im kalten Bad zu einem " Kältestoß ", im warmen Bad zu einem " Wärmestoß " führen. Nach ca 10 Minuten stellt sich ein dynamisches Gleichgewicht ein, das durch einen annähernd stationären Wärmestrom pro cm^2 Körperoberfläche gekennzeichnet ist.
4. Der Wärmestromnullpunkt, d.h. der Punkt, an dem kein Wärmestrom zwischen Bademedium und Körperoberfläche fließt, liegt zwischen 35° und 37°C .
5. Die Wärmestromdichte an den verschiedenen Körperstellen ist bei gleicher Badetemperatur verschieden groß. Bei Temperaturen über dem Bereich des Wärmestromnullpunktes ist die Wärmestromdichte an den Extremitäten größer als am Stamm, bei niedrigen Temperaturen kleiner. Analog ändert sich der Wärmewiderstand.
6. Die wechselnde Größe des Wärmewiderstandes verursacht eine Änderung der Durchblutung. Bei Badetemperaturen über 36°C ist der Widerstand in den Extremitäten kleiner als am Körperstamm, d.h. die Durchblutung der Extremitäten ist gegenüber der Gesamtoberfläche erhöht. Bei Temperaturen unter 36°C ist es umgekehrt.
7. Der innere Wärmewiderstand des menschlichen Körpers zwischen Haut und Körperkern im Bade ist höher als der äußere zwischen Hautoberfläche und Wasserbad.

8. Mit Hilfe des integralen Wärmestromes läßt sich die Wärmebilanz des Körpers bestimmen.
9. Beim Senken der Badetemperatur kann der menschliche Organismus beträchtliche Wärmemengen verlieren, ohne daß sich die Rectaltemperatur merklich ändert.
10. Ein Moorbad hat ein besseres Wärmehaltungsvermögen als ein Wasserbad.
11. Die Rectaltemperaturen steigen während eines Moorbades langsamer, aber stetiger an als während eines Wasserbades.
12. Die Sublingualtemperaturen im Moorbad liegen nach 25 Minuten Badezeit im Durchschnitt um $0,2 - 0,3^{\circ}$ höher als die Rectaltemperaturen. Im Wasserbad liegen sie nach gleicher Badezeit noch um $0,3^{\circ}$ tiefer als die Rectaltemperaturen.
13. Die Moorbreittemperatur ist an den verschiedenen Körperstellen wenig von der Hauttemperatur verschieden.
14. Die Temperatur des Moorbreibades muß höher sein als die des Wasserbades, wenn der gleiche Wärmestrom fließen soll.
15. Die Reizlosigkeit höherer Temperaturen beim Breibad ermöglicht eine anhaltende und tiefgehende Erwärmung des Körpers.

Zum Schluß sei es mir erlaubt, Herrn Professor Dr. med. H.
v. B r a u n b e h r e n s für die Übernahme des Referats
ergebenst zu danken.

Herrn Dipl. Phys. K. D i r n a g l und Herrn Dr. med. H.
D r e x e l danke ich geziemend für die freundliche Über-
lassung des Themas und für ihre wertvollen Ratschläge und
Hinweise bei der Durchführung der Versuche und der Ausar-
beitung der Ergebnisse.

Literaturhinweis.

1. Ahn Yogal Vergleichende Untersuchungen über die Wirkung von Wasser-, Moorextrakt- und Salicylbädern, unter Anwendung von Strömungscalorimeter-, Hauttemperatur-, Körperkerntemperatur und Muskelcalorimeter-Messungen. Münchner Dissertation 1957
2. Aschoff J./Kämpfer F. Über den Wärmedurchgang durch die Haut und seine Änderung bei Vaskonstriktion. Pflügers Archiv 249 / 112 (1947)
3. Aschoff J. Einige allgemeine Gesetzmäßigkeiten physikalischer Temperaturregulation. Pflügers Archiv 249 / 125 (1947).
4. Aschoff J. Hundert Jahre "Homöothermie" Ztschr.d.Naturwissenschaften 35Jahrg. 48 (1948) Springer Verlag.
5. Aschoff J. Wechselwirkungen zwischen Kern und Schale im Wärmehaushalt. Arch.f.phys.Therapie 8 Jahrg.3 (1956)
6. Büttner K. Physikalische Bioklimatologie Akad. Verlagsges.Leipzig (1938)
7. Burton AC./Bazett A study of the average Temperature of the tissues, of the exchanges of heat and Vasomotor Expenses in man by means of a bathcalorimeter. American Journal of Physiology Vol.117 Baltimore 1936
8. Dirnagl/Kamm Experimentelle Untersuchungen über die Wirkungsweise von Moorbädern. Mnchn.med.Wochenschrift 41/2077(52)

9. Dirnagl K. Wärmeübergang aus breiigen und wässrigen Bademedien.
Sonderdruck Arch.d.phys.Therapie
8.Jahrg.(1956) Heft 3
10. Drexel H. Meßergebnisse über die Wärmeleitfähigkeit der Körperoberfläche.
Sonderdruck Arch.d.phys.Therapie
8. Jahrg.(1956) Heft 3
11. Fetscher/Hall/
 Shaub The Skin Temperature of an Extremity
as a measure of its blood flow.
Science 110(1949)
12. Grafe E. Fieber und Fieberstoffwechsel
Archiv f. phys. Therapie 8J.3/133(1956)
13. Hensel H. Ein neues Verfahren zur peripheren
Durchblutungsregistrierung an beliebigen Körperstellen.
Ztschr.d.Kreislaufforschung 41/251(52)
14. Ipser J. Physikalische und physiologische
Bedingungen der Wärmeübertragung im
Bade. Kongreßbericht Atti 4.-8.10.58
15. Kühnau J. Praxis der Wärmeanwendung in der
Balneologie.
Aus Erforschung und Praxis der Wärmebehandlung in der Medizin
Steinkoff Verlag, Dresden 1937
16. Lampert H. Grundlagen der Wärmebehandlung
Steinkoff Verlag (1937)
17. Landois/Rosemann Physiologie des Menschen
Urban Schwarzenberg Verlag 1950
18. Lustig WL./Cammerer Folien-Wärmestrom-Messer für technische
und physiologische Untersuchungen
Sonderdruck d. "Gesundheitsingenieur"
(76 Jahrg.1955) Heft 19/20
19. Precht/Christopher/
 Hensel Temperatur und Leben
Springer Verlag 1955

20. Rajewsky B. Erforschung und Praxis der Wärme-
 behandlung in der Medizin
 Steinkoff Verlag Dresden 1937
21. Rein H. Physiologie des Menschen
 Springer Verlag 1955
22. Schley W. Berechnungsmöglichkeit der Wärme-
 abgabe des menschl. Fußes
 Sond. Gesundheitsingenieur 76 Jahrg.
 1955 Heft 19/20
23. Souci Eigenschaften und Wirkungen des
 Bademoores.
 Münchn.med.Wochenschrift 2,62(32)
24. Thauer Der Mechanismus der Wärmeregulation
 Erg.d.Physiologie 41,607(1939)
25. Vogt Einführung in die Balneologie und
 med. Klimatologie
 Springer Verlag (1952)
26. Wetzler/Neuroth Koordinierung von phys.und chem.
 Wärmeregulation
 Zeitschr.d.experim.Medizin 115/124
27. Wernhard Vergleichende Untersuchung über die
 Wirkung von Wasser-, und Moorex-
 traktbädern, unter Anwendung von
 Wärmestrom-, Hauttemperatur- und Kör-
 pertemperaturmessungen
 Med.Diss.München 1956
28. D' Ans - Lax Taschenbuch für Chemiker und
 Physiker

Lebenslauf.

Ich, Wolfhard K a m p e , wurde am 22. Februar 1935 als Sohn des Lehrers Ernst K a m p e in Zerrin/Kreis Bütow (Pommern) geboren. Von 1941 bis 1945 besuchte ich die Volksschule in Beuthen/OS. Am 18. Januar 1945 mußte ich infolge Kriegseinwirkung die Heimat verlassen und kam nach mehrmonatigem Aufenthalt in Budweis/CSR. am 28. Juli 1945 nach Weiden/Oberpfalz. Dort besuchte ich von 1946 an das Humanistische Gymnasium, das ich 1954 absolvierte.

Am 3. November 1954 begann ich an der Ludwig-Maximilians-Universität München das Medizinstudium und legte am 28. Februar 1957 daselbst das Physikum ab.

Die klinischen Semester studierte ich ebenfalls an der Universität München und beendete mein Studium im Sommer 1960 mit dem Staatsexamen.

